

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Российский фонд фундаментальных исследований

**Энерго- и ресурсосбережение.
Энергообеспечение.
Нетрадиционные и возобновляемые
источники энергии**

Том 2

**Материалы Всероссийской научно-практической
конференции студентов, аспирантов и молодых ученых
с международным участием
(Екатеринбург, 16–19 декабря 2014 г.)**

*Под общей редакцией
д-ра экон. наук, проф. Н. И. Данилова*

Екатеринбург
УрФУ
2015

УДК 620.9-049.35106
ББК 31.190.7я431
Э65

Э65 **Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии:** материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 16–19 декабря 2014 г.) / Под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Н. И. Данилова : в 2 т. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – Т. 2. – 296 с.

ISBN 978-5-321-02436-2 (т. 2)
ISBN 978-5-321-02434-8

В сборник включены материалы, представленные на Всероссийской научно-практической конференции, отражающие широкий диапазон научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых вузов, предприятий и организаций России, стран СНГ и дальнего зарубежья по проблемам энергосбережения, энергообеспечения, повышения эффективности использования энергетических ресурсов и создания нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Сборник материалов конференции состоит из 2-х томов. В 1-й том входит раздел «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. Энергообеспечение», во 2-й том – разделы «Ресурсосбережение и повышение экологической эффективности. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика».

УДК 620.9-049.35106
ББК 31.190.7я431

Организационный комитет:

Князев С. Т. (председатель оргкомитета)
Кружаев В. В. (сопредседатель оргкомитета)
Балдин В. Ю. (ответственный секретарь)

Авраменко Е. С.
Алехин В. Н.
Барашев А. Р.
Безматерных М. А.
Бегалов В. А.
Белоусов В. С.
Белоусова О. А.
Богатова Т. Ф.
Бродов Ю. М.
Вараксин М. В.
Велькин В. И.
Герасимова Е. С.
Гольцев В. А.
Дени М. В.
Дубинин А. М.
Жилин А. С.
Жуков А. А.
Иваницкая Р. Л.
Капустин Ф. Л.
Козлов В. В.
Кокин С. Е.
Коняев А. Ю.
Корелин А. В.
Котов О. М.

Краснова А. В.
Лихтенштейн В. И.
Май С. А.
Малыгин В. Ю.
Микула В. А.
Моржерин Ю. Ю.
Мунц В. А.
Немихин Ю. Е.
Паздерин А. В.
Плотников П. Н.
Попов А. И.
Раков О. А.
Рыжков А. Ф.
Сарапулов С. Ф.
Селезнева И. С.
Силин В. Е.
Семенов Г. А.
Толстова Ю. И.
Тупоногов В. Г.
Худякова Г. И.
Черных И. В.
Шимов В. В.
Щеклеин С. Е.
Ярошенко Ю. Г.

Сборник издан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-38-10313)

ISBN 978-5-321-02436-2 (т. 2)
ISBN 978-5-321-02434-8

© Уральский федеральный
университет, 2015
© Авторы статей, 2015

*Уважаемые участники, организаторы и гости
Всероссийской студенческой олимпиады, выставки
и научно-практической конференции!*

Устойчивое и надежное энергообеспечение страны – важнейший элемент государственной стратегии развития, а энергоэффективность и энергосбережение занимают приоритетные позиции во внутренней и внешней политике всех без исключения государств мирового сообщества.

Рациональное использование энергетических ресурсов является одним из наиболее важных вопросов для экономики нашей страны. Президент Российской Федерации не раз отмечал, что энергосбережение, повышение энергоэффективности превращаются в один из основных трендов всемирной экономики. Работу по энерго- и ресурсосбережению Президент назвал «ключевым направлением для модернизации экономики и социальной сферы страны».

Пять лет назад вступил в действие Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...». Принятый закон, действующая в стране Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года направлены на реализацию активно проводимой государством политики сбережения и рационального использования энергетических ресурсов.

Успешная реализация этой политики возможна только при активном участии молодых специалистов, выпускников вузов, способных с полным пониманием квалифицированно реализовывать конкретные мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Поэтому сегодня отечественной экономике крайне необходим приток молодых высококвалифицированных специалистов и ученых со сформированной идеологией энергосбережения.

Губернатор и Правительство Свердловской области неоднократно указывали на необходимость подготовки молодых специалистов инженерных профессий, способных создавать новые и оптимизировать действующие процессы производства, передачи и потребления энергии, посвятить свою научную деятельность поиску новых источников энергии и способов эффективного их использования.

В Свердловской области все большее внимание уделяется вопросам стимулирования студентов, аспирантов и молодых ученых к творческой деятельности, в том числе участию в энерго- и ресурсосберегающих исследованиях и проектах, а также в профессиональных конкурсах. В этой связи особенно хочется отметить результаты работы ряда кафедр Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Института энергосбережения, которые успешно осуществляют научно-методическую и образовательную деятельность по повышению энергетической эффективности экономики и подготовке кадров в Свердловской области.

Творчество молодежи активно поддерживается региональными органами государственной власти и бизнеса. Разработки молодых ученых и специалистов регулярно демонстрируются на выставках, конференциях и форумах. На ставших традиционными международных выставках «ИННОПРОМ», энергетическом форуме «Энерго-ПромЭкспо» ежегодно презентуются экспозиции энергоэффективной техники и технологий, где особое место занимают проекты и материалы, разработанные при участии молодежи.

Важно и впредь вовлекать молодых ученых и специалистов в систему информационного обмена, обобщать представленные результаты в области энерго- и ресурсосбережения, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также привлекать молодежь к научно-практическому творчеству. Считаю, что мероприятия Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки зарекомендовали себя как эффективная коммуникационная площадка для этих целей.

Желаю всем участникам Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки плодотворной творческой работы по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики, успешной практической реализации творческих идей, успехов в освоении новых знаний и заслуженных побед!

Директор Уральского
энергетического
института УрФУ,
доктор технических наук,
профессор



С. Ф. Сарапулов

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

УДК 621.928.8

Абдуллаев Ж. О., Назаров С. Л., Коняев А. Ю.
Уральский федеральный университет,
zhahongir1@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ С ЛИНЕЙНЫМ ИНДУКТОРОМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ЧАСТОТАХ ПИТАНИЯ

Развитие технологий вторичной цветной металлургии выгодно с точки зрения экономики и экологии, поскольку они дают комплексный энерго- и ресурсосберегающий эффект [1]. Вторичное использование металлов позволяет сократить потребление природных ресурсов. В то же время на производство товарного продукта из вторичных металлов требуется значительно меньше энергии, чем на аналогичное производство из первичного сырья. Например, на получение вторичного алюминия тратится в 20 раз меньше энергии, чем на электролитическое получение его из криолит-глиноземных расплавов. Кроме того, технологические процессы в цветной металлургии характеризуются большим количеством пылегазовых выбросов в атмосферу, сточных вод и разнообразных видов твердых отходов (хвосты обогащения, шлаки и шламы металлургических переделов, отходы металлообработки и т. д.). Экологическая обстановка в районах предприятий цветной металлургии наиболее напряженная. Постоянное обеднение руд цветных металлов обуславливает тенденцию к дальнейшему увеличению энергопотребления и росту количества отходов на единицу металлургической продукции. Сказанное приводит к необходимости все более широкого использования вторичных цветных металлов.

По данным [1], в 2006 году мировое производство первичного алюминия составило 32,8 млн т, вторичного – 16,0 млн т. Источниками вторичного алюминия являются промышленные и технологические отходы, а также амортизационный лом, доля которого превысила 7 млн т (более 40 % всего вторичного сырья). Предполагается, что мировой сбор амортизационного лома к 2020 году удвоится. Указанные тенденции вполне можно распространить на Россию, поэтому проблемы сбора лома и отходов цветных металлов являются актуальными. К сожалению, значительная часть металла, попадающего в смешанные твердые отходы производства и потребления, безвозвратно теряется в связи с отсутствием предприятий по сортировке отходов. Например, на долю твердых бытовых отходов в 90-е годы приходилось до 60 % безвозвратно теряемого алюминия. Другая проблема связана с тем, что лом цветных металлов поступает на перерабатывающие предприятия в несортированном виде, и его непосредственная плавка будет сопровождаться большими потерями металла и низким качеством выплавляемых сплавов.

Одним из путей решения данных экономических и экологических проблем является развитие технологий сбора и обработки цветного металлолома, в том числе с помощью электродинамических сепараторов.

Электродинамические сепараторы – устройства, предназначенные для решения следующих технологических задач.

- Извлечение лома цветных металлов из твердых бытовых или смешанных отходов.
- Отделение металлической фракции от неметаллической в сложных отходах цветных металлов (отходы электро- и радиотехнической промышленности, электролампового производства, автомобильный лом и т. п.).
- Очистка сыпучих материалов от металлических включений (например, очистка отработанных формовочных смесей от скрапа в литейном производстве).
- Сортировка сложного цветного металлолома при подготовке его к металлургическому переделу: разделение лома по крупности, удельному весу, электропроводности (например, отделение кускового лома от стружки, разделение сплавов, отличающихся только легирующими добавками).

Конструктивно электродинамические сепараторы разделяются по способу возбуждения поля (устройства с линейным индуктором, вращающимся индуктором с постоянными магнитами или электромагнитами; индукторный) и способам подачи и отвода сепарируемых материалов (по конвейеру, по наклонной плоскости и т. п.).

Электродинамический сепаратор с бегущим магнитным полем работает по принципу линейного асинхронного двигателя, вторичным элементом которого является извлекаемая частица металла. Электромагнитные процессы в этих устройствах крайне сложны, что требует, помимо разработки расчетных методик, их подтверждения экспериментальными данными. С этой целью была создана лабораторная установка электродинамического сепаратора (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид сепаратора и преобразователя частоты

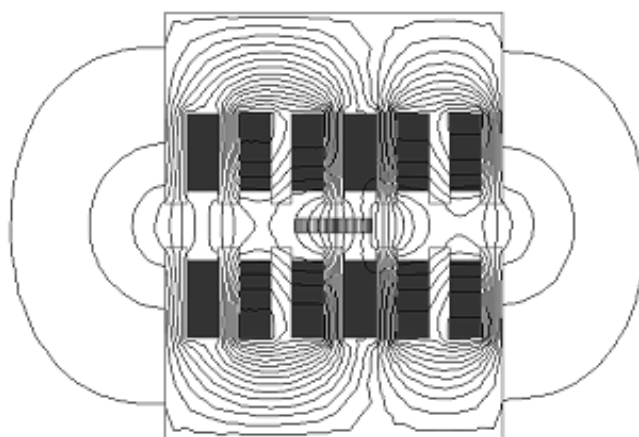


Рис. 2. Расчетная область МКЭ для ВЭ 25×25×5 мм

Расчет усилия, действующего на извлекаемую частицу, производился на основе аналитической модели электродинамического сепаратора [2] и с помощью пакета *ELCUT*. При использовании пакета *ELCUT* замыкание вторичных токов в пределах короткого ВЭ моделируется его разбиением на ряд участков и соединением их внешней электрической цепью. Расчетная область метода конечных элементов представлена на рис. 2.

Каждый из методов имеет допущения, не позволяющие учитывать различные особенности линейной электрической машины. Так, аналитическая модель косвенно учитывает изменение магнитного поля по высоте воздушного зазора индуктора. Расчет с помощью пакета *ELCUT* не отражает особенностей замыкания индуцированных токов в проводящей частице. Таким образом, каждый метод имеет свои ограничения и требует оценки точности расчетов.

По этой причине было проведено сопоставление результатов расчетов обоими способами. Некоторые результаты такого сопоставления в виде зависимости усилия от частоты поля приведены на рис. 3 (a, b – ширина и длина пластин; τ – полюсное деление индуктора). Видно, что расчеты по [1] (сплошные линии) и расчеты с помощью *ELCUT* (зачерненные круглые маркеры) дают достаточно близкие результаты.

Помимо расчетов зависимости усилия извлечения от частоты питания индуктора, проводилось и экспериментальное определение этих зависимостей. Экспериментальные значения приведены также на рис. 3 и обозначены квадратными незачерненными маркерами. Некоторый разброс экспериментальных значений относительно расчетных можно отнести как к несовершенству измерительной базы, так и к значительному нагреву вторичного элемента (извлекаемой частицы) при повышенных частотах.

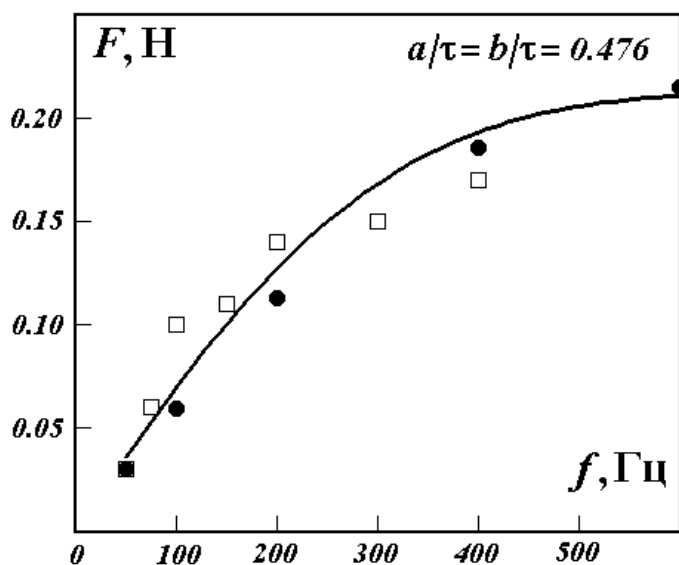


Рис. 3. К оценке методик расчета

Таким образом, исследование созданной авторами лабораторной установки электродинамического сепаратора позволило оценить достоверность расчетных методик.

Список литературы

1. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета: учебное пособие / А. Ю. Коняев, И. А. Коняев, Н. Е. Маркин, С. Л. Назаров. Екатеринбург : УрФУ, 2012. 104 с.
2. Коняев А. Ю., Назаров С. Л. Исследование характеристик электродинамических сепараторов на основе двумерной модели // Электротехника. 1998. № 5. С. 52–58.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЕСЦВЕЧИВАТЕЛЕЙ

В последнее время остро стоит проблема ресурсо- и энергосбережения. Любая отрасль промышленности заинтересована в том, чтобы получить высококачественный продукт при минимальных затратах. Использование в стекольном производстве местных материалов позволит значительно сократить затраты на транспортировку материалов, и следовательно, снизить себестоимость сырья, если при этом сохранится качество конечного продукта. Перед нами была поставлена задача – проверить, возможно ли изготовление листового и тарного стекла из сырья Уральского региона. Химический состав сырья приведен в таблице ниже.

Химический состав сырья, мас. %

Месторождение	Сырье	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Каменск-Уральское	Необогащенный кварцевый песок	96,2	1,42	0,29	0,07	0,71	0,15	0,25	0,24
Каменск-Уральское	Обогащенный кварцевый песок	98,5	0,61	0,17	0,04	0,19	0,05	0,14	0,05
г. Первоуральск	Доломит	1,5	1,0	33,6	18,2	0,2	-	-	-
Сосновское	Известняк	0,7	1,03	54,2	0,8	0,12	0,07	0,07	0,05
Вишневогорский ГОК	ПШК	59,6	21,8	-	-	0,19	15,1	-	-

В производстве бесцветных стеклоизделий в первую очередь уделяют внимание чистоте применяемого сырья, состав которого по содержанию красящих оксидов должен соответствовать ГОСТ, и лишь потом – обесцвечиванию стекломассы.

Для эксперимента был выбран состав листового термополированного стекла.

Обесцвечивание осуществляется при вводе кислородсодержащих соединений: оксида мышьяка As₂O₃, селитры (натриевой NaNO₃ и калиевой KNO₃), а также оксидов церия CeO₂ и марганца MnO₂.

Варка производилась в силитовой печи в корундовых тиглях при температурах 1400–1500 °С в течение 6 часов, отлив – в металлические подогретые формы, затем отжиг – в муфельной печи. Температура отжига составила 560–580 °С.

Было изготовлено более десяти образцов с разным составом шихты. Первые два образца синтезировали в соответствии с химическим составом без обесцвечивателей. Для выявления роли каждого обесцвечивателя мы провели

эксперименты с добавками в шихту: натриевой селитры (образец № 3), калиевой селитры и оксида сурьмы (образец № 4), калиевой селитры и оксида церия (образцы № 5 и 6).

В результате эксперимента выяснилось, что самые бесцветные светопрозрачные стекла получились с комплексной добавкой калиевой селитры и оксида церия. Поэтому для поиска оптимального соотношения этих химических веществ было решено исследовать составы двух разрезов: 1) при наличии в шихте 1 % KNO_3 добавляли CeO_2 в количестве 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1 (образцы № 5, 7, 9, 11, 13); 2) при наличии в шихте 2 % KNO_3 добавляли CeO_2 в количестве 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1 (образцы № 6, 8, 10, 12, 14).

Все образцы светопрозрачны. Образец № 1 имеет самый заметный синезеленый оттенок, что связано с наличием оксидов железа в песке в большом количестве, недопустимом для стекловарения, а также других примесей. Образец № 2 получился с голубоватым оттенком. Образец № 3 – заметно уменьшается голубой оттенок. Образец № 4 почти не имеет оттенка, визуально выглядит бесцветным. Образцы № 5 – 12 с добавлением оксида церия и калиевой селитры получились более прозрачными, но с увеличением содержания оксида церия (образцы № 13, 14) появляется желтоватый оттенок.

Измерение проводилось на спектрофотометре СФ-26 в УФ-области и видимой области. Для обеспечения работы спектрофотометра в широком диапазоне спектра используются два фотоэлемента и два источника излучения сплошного спектра.

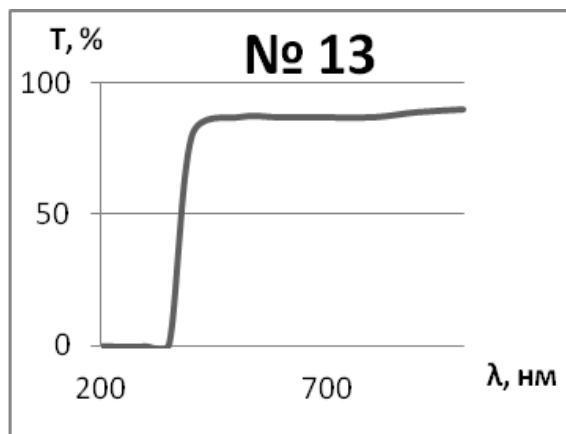


Рис. 1. Спектр светопропускания образца № 13 с содержанием CeO_2 – 1 % и K_2O – 1 %

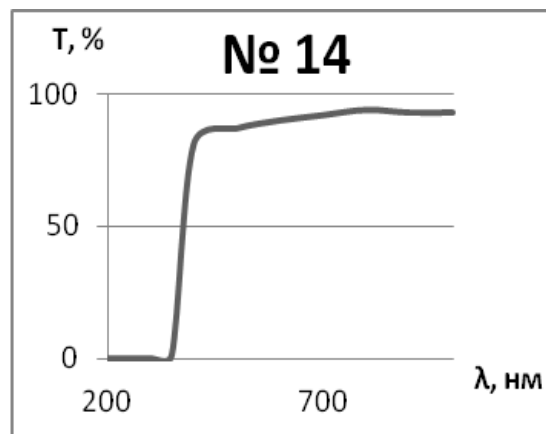


Рис. 2. Спектр светопропускания образца № 14 с содержанием CeO_2 – 1 % и K_2O – 2 %

Из графиков зависимости светопропускания от длины волны видно, что в УФ-области светопропускание отсутствует, начинает увеличиваться в видимой области, это говорит о преобладающем наличии Fe^{3+} в стекле. Окислительные условия варки способствуют сохранению церия в форме Ce^{4+} , что повышает поглощение в УФ части спектра (селитра помогает создать кислородсодержащее условие). Добавка его в большом количестве приводит к окрашиванию стекломассы.

Очевидно, что для достижения максимального светопропускания и наилучшего осветления стекломассы необходимо было ввести комплексный обесцвечиватель.

Оксиды железа в стекле находятся в состоянии подвижного равновесия:



В присутствии окислителей или свободного кислорода реакция будет сдвигаться в сторону образования Fe_2O_3 , т. е. в оксидную форму железа (III), менее интенсивно окрашивающую стекло. В нашем случае необходимо было добиться этого за счет окисления в процессе варки стекла.

При применении селитры (калиевая дала больший эффект, чем натриевая) часть кислорода выделяется из нее еще до стадии стеклообразования, поэтому для дополнительного ввода кислорода и рационального использования кислорода селитры ввели оксид сурьмы (в оптическом стекловарении используют оксид мышьяка, но это дороже и опаснее). Оксид церия (IV) является сильным окислителем, механизм действия:



Опыты показали, что эффективней вводить оксид церия в определенном количестве (превосходить содержание оксидов железа в 3–4 раза) при обязательном вводе селитры. Оксид церия, введенный в шихту, одновременно с обесцвечиванием способствует осветлению стекломассы, т. е. удалению из нее пузырей. С увеличением добавки оксида церия светопропускание увеличивается.

По результатам исследований можно сказать, что полученные образцы по внешнему виду и по свойствам вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к данным видам стекол. Следовательно, данные сырьевые материалы можно рекомендовать для производства листового (оконного) и тарного стекол. Использование местных материалов экономически и практически выгодно для производства стекла, что позволяет отказаться от дорогостоящих привозных материалов и тем самым значительно сократить транспортные затраты.

УДК 669.054

Багин Д. Н., Обвинцева Е. Ю., Якушев Н. С., Коняев А. Ю.
Уральский федеральный университет,
a.u.konyaev@urfu.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

В последние годы одной из наиболее востребованных задач становится переработка электронного лома (отслужившие свой срок компьютеры, телефоны, радиотехнические изделия, электронные блоки электротехнических установок) с целью извлечения и вторичного использования содержащихся в нем бла-

городных и цветных металлов [1–3]. Такие отходы являются многокомпонентными и не могут подвергаться непосредственной металлургической переработке без экологических последствий и потери значительной части полезных компонентов. Современным эколого-экономическим требованиям (минимизация воздействия на окружающую среду, ресурсо- и энергосбережение) более всего удовлетворяет комплексная переработка отходов, предполагающая разделение их на фракции с последующей утилизацией полученных компонентов наиболее подходящими методами.

Электронный лом характеризуется тем, что в большинстве случаев материалы содержатся в нем в виде сростков. Поэтому на первой стадии переработки необходимо дробление и измельчение отходов для раскрытия отдельных материалов с последующим разделением их на фракции. Например, в [3] описан комплекс по механической обработке радиоэлектронного лома, включающий молотковые дробилки, вибрационные грохоты и каскадно-гравитационные классификаторы. Комплекс позволяет обрабатывать радиоэлектронные блоки с навесным монтажом печатных плат, с корпусными элементами, содержащими, в том числе, и стальные детали. На выходе комплекса получают коллективные концентраты материалов, систематизированные по крупности входящих в них частиц, что облегчает последующую переработку, основной задачей которой является отделение металлов от изоляции.

Возможность отделения изоляционных материалов и получения селективных концентратов металлов появляется при использовании электродинамических сепараторов. В мировой практике чаще всего применяются электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем. Разработка и исследование таких сепараторов является одним из научных направлений кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ [4–5]. В лаборатории кафедры созданы опытные образцы электродинамических сепараторов, разработаны методики расчета характеристик таких сепараторов. Опробование процессов сепарации электронного лома на опытных установках с использованием материалов, предоставленных заказчиком, показало, что для сепарации фракции отходов крупностью +10–20 мм может использоваться сепаратор на основе двухстороннего трехфазного линейного индуктора при подаче сепарируемых материалов по наклонной плоскости. Такой сепаратор схематично показан на рис. 1.

Бегущее магнитное поле создается линейным индуктором, питаемым трехфазным переменным током частотой 50 Гц. Разделяемые смеси материалов подаются в зону сепарации по наклонной плоскости. При взаимодействии с бегущим магнитным полем частицы немагнитных цветных металлов получают ускорение, направленное поперек линии подачи. Величина такого ускорения зависит от соотношения электропроводности металла и его удельного веса. Металлы и сплавы, отличающиеся по указанному показателю, собираются на выходе установки в разные приемники продуктов сепарации.

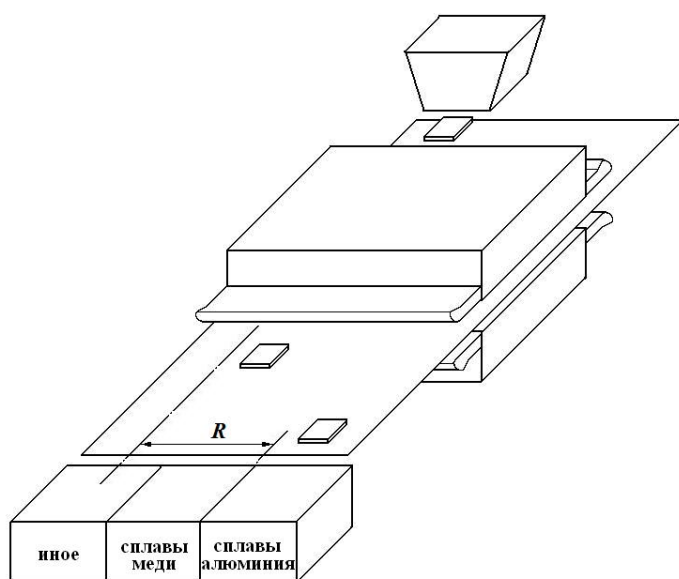


Рис. 1. Схема опытного электродинамического сепаратора для сортировки электронного лома

В процессах сепарации на извлекаемые проводящие тела помимо электромагнитных сил действуют конкурирующие механические силы, величина которых зависит от многих случайных факторов. Кроме того, в случае малых размеров извлекаемых частиц величина действующих на них электромагнитных усилий отталкивания, боковых усилий и вращающих моментов становится соизмеримой с действием продольной силы – силы извлечения, что обуславливает сложный и неоднозначный характер движения предметов.

Возрастает влияние на результат случайных факторов: форма предметов и их ориентация в поле, состав сепарируемой смеси, влажность и т. п. Все это снижает повторяемость результатов экспериментов. По указанным причинам при исследованиях эффективность сепарации целесообразно оценивать по технологическим показателям, таким как «степень извлечения выделяемого продукта в концентрат» (доля частиц выделяемого продукта в концентрате от того же продукта в исходной смеси) – ϵ и «содержание выделяемого продукта в концентрате» (доля частиц выделяемого продукта среди всех частиц в концентрате) – β . При экспериментальных исследованиях технологические показатели определяются с помощью серии экспериментов по результатам взвешивания проб исходного материала и выделенных фракций на электронных весах. Строгость экспериментальной оценки обеспечивается применением статистических методов при математической обработке опытов.

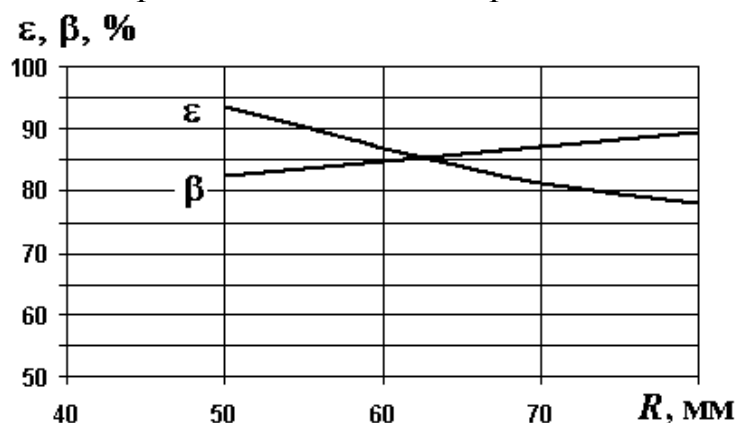


Рис. 2. Зависимости технологических показателей опытного сепаратора от положения разделителя потока

На рис. 2 показаны зависимости достигнутых при испытаниях технологических показателей электродинамического сепаратора от положения разделителя потока материалов (R – расстояние от линии подачи материала до разделителя потока, как показано на рис. 1).

Задачей сепарации, сформулированной предприятием–заказчиком, являлось выделение из электронного лома алюминиевых сплавов.

Полученные результаты (степень извлечения алюминиевых сплавов и их содержание в концентрате на уровне 80–90 %) подтверждают возможность эффективного использования электродинамических сепараторов для обработки электронного лома.

Список литературы

1. Медведев А., Арсентьев С. Утилизация продуктов производства электроники // Компоненты и технологии. 2008. № 10. С. 153–159.
2. Цыпин Е. Ф. О переработке электронного лома и отходов // Известия вузов. Горный журнал. 1997. № 11–12. С. 233–239.
3. Дистанов А. А., Воскобойников В. В. Комплекс для переработки радиоэлектронного лома // Твердые бытовые отходы. 2012. № 5. С. 3–7.
4. Коняев А. Ю., Коняев И. А., Назаров С. Л. Применение электродинамических сепараторов в технологиях вторичной цветной металлургии // Цветные металлы. 2012. № 11. С. 22–25.
5. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов // А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров, Р. О. Казанцев, Н. С. Якушев [и др.] // Твердые бытовые отходы. 2014. № 2. С. 26–30.

УДК 621.928.8

Багин Д. Н., Макаров А. В., Коняев И. А.
Уральский федеральный университет,
a.u.konyaev@urfu.ru

ИНДУКЦИОННАЯ СОРТИРОВКА ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ

Одной из тенденций развития экономики, направленной на решение эколого-экономических проблем, является увеличение производства вторичных цветных металлов. В то же время производство металлов из рудного сырья сталкивается с целым рядом экономических и экологических проблем. Возрастают затраты на разработку сырья, что связано с уменьшением содержания металлов в рудах и увеличением транспортных расходов из-за удаленности месторождений. Велики топливно-энергетические затраты на производство цветных металлов и расходы на природоохранные мероприятия, поскольку технологические процессы в цветной металлургии характеризуются большим количеством пылегазовых выбросов в атмосферу, сточных вод и разнообразных видов твердых отходов (хвосты обогащения, шлаки и шламы металлургических переделов, отходы металлообработки и т. д.). Указанные причины обуславливают необходимость развития вторичной цветной металлургии.

При использовании вторичных металлов уменьшается потребность в минеральном сырье, снижаются энергопотребление и выбросы в биосферу загрязняющих веществ. Однако производство вторичных цветных металлов в нашей

стране уступает достигнутому в ведущих промышленных странах уровню как по количественным (доля вторичных металлов от всего производства), так и по качественным (качество получаемых сплавов) показателям [1–5]. Одной из причин такого положения является отставание в области разработки и производства оборудования для вспомогательных технологических операций (фрагментирование, дробление, сортировка). Указанные операции, реализуемые на стадии подготовки лома и отходов к металлургическому переделу, должны обеспечивать свойства вторичного сырья, требуемые для металлургических процессов. Отсутствие таких технологий и оборудования приводит к тому, что при подготовке лома и отходов преобладает ручной труд.

Проблема заключается в том, что значительная часть лома цветных металлов поступает на металлургические заводы в неразделанном и несортированном виде. Непосредственная плавка несортированного лома сопровождается рядом нежелательных явлений, таких как:

- потери легирующих добавок (в первую очередь, легкоплавких: олова, свинца, цинка);
- выпуск низкокачественных сплавов (например, для алюминия основными загрязнителями являются железо, кремний, марганец);
- повышение энергозатрат, связанное как с увеличением времени плавки, так и с расходами на последующую очистку расплавов;
- ухудшение свойств шлака и выделение вредных выбросов, обусловленные наличием в ломе неметаллических включений (резина, пластмассы и т.п.);
- потери основного металла на угар при плавке металлолома с фрагментами, существенно отличающимися по размерам (например, стружки и кускового лома).

Удаление из лома и отходов неметаллических включений, сортировка цветных металлов по крупности, а также по видам металлов и группам сплавов являются наиболее сложными операциями на стадии подготовки вторичного сырья. Для указанных целей используются различные методы: магнитная, электрическая, пневматическая сепарации, сепарация в тяжелых средах [1, 3, 5].

Для предварительной очистки смесей от ферромагнитных включений (железо, никель, ферриты) используют магнитные сепараторы – железоотделители. При пневмосепарации можно разделить отходы на тяжелую и легкую фракции (например, отделить металл от изоляционных материалов). Магнитная и пневмосепарация применяются на начальных стадиях подготовки лома. В дальнейшем решается более сложная задача сортировки цветных металлов по крупности, а также по видам металлов и группам сплавов. Широкое применение при обработке лома и отходов цветных металлов находит электродинамическая сепарация в бегущем магнитном поле [6, 7]. Получение с помощью такой сепарации селективных концентратов металлов существенно повышает ценность продуктов разделения: снижаются затраты на последующие металлургические переделы, уменьшаются потери металла, улучшаются экологические показатели металлургических процессов, появляется возможность получения из вторичных металлов высококачественных сплавов.

Разработка установок электродинамической сепарации является одним из научных направлений кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ [6]. На кафедре создан ряд опытных сепараторов, разработаны методы их расчета, что позволяет решать разнообразные задачи, связанные с обработкой металлосодержащих отходов. Исследования подтверждают возможность решения рассмотренных технологических задач. Например, на рис. 1 показаны расчетные зависимости удельного электромагнитного усилия (отношение усилия к массе извлекаемой частицы $F_m = F/m$ [Н/кг или м/с^2]) от частоты бегущего магнитного поля для медных пластин разной крупности, полученные для одной из опытных установок на основе трехфазного линейного индуктора. Основные параметры установки: полюсное деление – 100 мм; удаление пластин от индуктора – 6,5 мм; максимальная индукция поля в месте расположения пластин – 0,04 Тл; толщина медных пластин – 5 мм. Можно отметить нелинейный характер зависимостей, вполне соответствующий виду механических характеристик асинхронных двигателей. Нетрудно видеть, что в области малых частот пластины разных размеров приобретают разные ускорения, что создает предпосылки для сортировки металлов по крупности.

На рис. 2 приведены траектории движения пластин, выполненных из разных медных сплавов (1 – медь кадмиевая Мк1; 2 – латунь Л90; 3 – латунь Л63; 4 – мельхиор МНЖМц), полученные экспериментальным путем на той же установке. Результат иллюстрирует возможность сепарации сплавов с разными легирующими добавками.

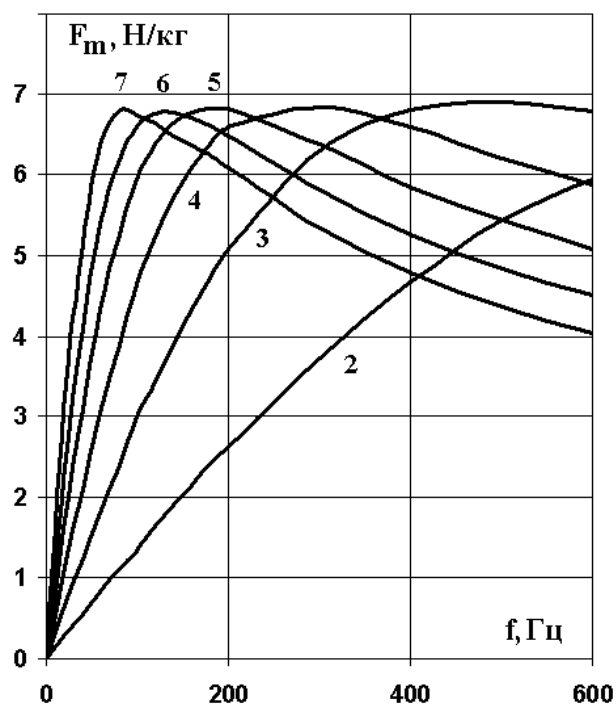


Рис. 1. Зависимости усилия сепаратора от частоты для пластин разных размеров (показаны цифрами на графиках, см)

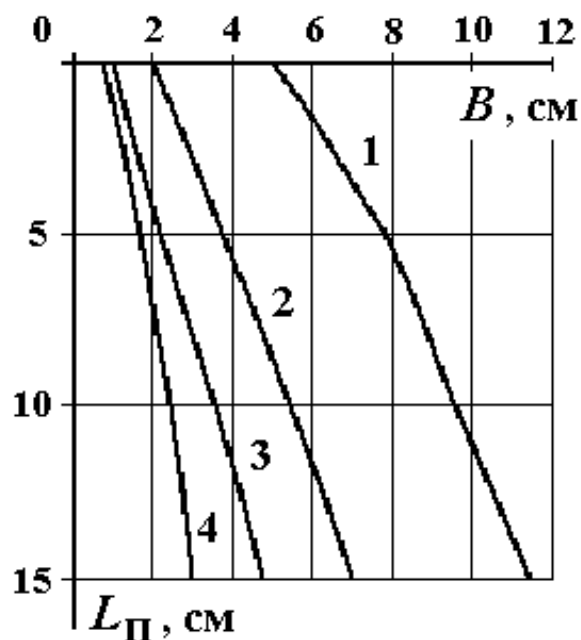


Рис. 2. Траектории образцов сепарируемых медных сплавов на выходе электродинамического сепаратора

Таким образом, выполненный авторами анализ показывает необходимость совершенствования технологий подготовки лома к металлургическому переделу и показывает, что одним из эффективных методов сортировки цветных металлов по крупности и видам материалов является электродинамическая сепарация.

Список литературы

1. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. М. : Металлургия, 1993. 288 с.
2. The problem of aluminium recycling // Recycling International. 2007. № 3. P. 14–16.
3. Абросимов А. С., Бондаренко Ю. А. Подготовка отходов цветных металлов к металлургическому переделу // Цветные металлы. 1989. № 8. С. 100–104.
4. Золотаревский В. С. Вторичные алюминиевые сплавы: состояние и перспективы // Цветные металлы. 2004. № 7. С. 76–80.
5. Шубов Л. Я., Ставровский М. Е., Олейник А. В. Технология отходов. М. : Альфа-М, Инфра-М., 2011. 352 с.
6. Коняев А. Ю., Коняев И. А., Назаров С. Л. Применение электродинамических сепараторов в технологиях вторичной цветной металлургии // Цветные металлы. 2012. № 11. С. 22–25.

УДК 666.76

Баяндина М. А.
Уральский федеральный университет,
bmasha07@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

Наиболее распространенным видом огнеупоров являются алюмосиликатные, содержащие в качестве главных химических компонентов оксид алюминия и оксид кремния (IV) в различных соотношениях.

В зависимости от содержания оксида алюминия алюмосиликатные огнеупоры подразделяют на шамотные и высокоглиноземистые огнеупоры. Содержание Al_2O_3 в шамотных огнеупорах составляет менее 45 %, а в высокоглиноземистых огнеупорах – более 45 %.

Высокоглиноземистые огнеупоры, по сравнению с шамотными, отличаются большим содержанием муллита, меньшим количеством стеклофазы и более высокой температурой ее размягчения. Большая огнеупорность и стойкость против деформации под нагрузкой при нагревании, повышенная химическая устойчивость – все эти качества позволяют применять высокоглиноземистые огнеупоры в тех случаях, когда условия службы для шамотных огнеупоров становятся чрезмерно тяжелыми [1].

В производстве высокоглиноземистых огнеупоров условно выделяют два передела: производство высокоглиноземистого шамота (рис. 1) и производство изделий.

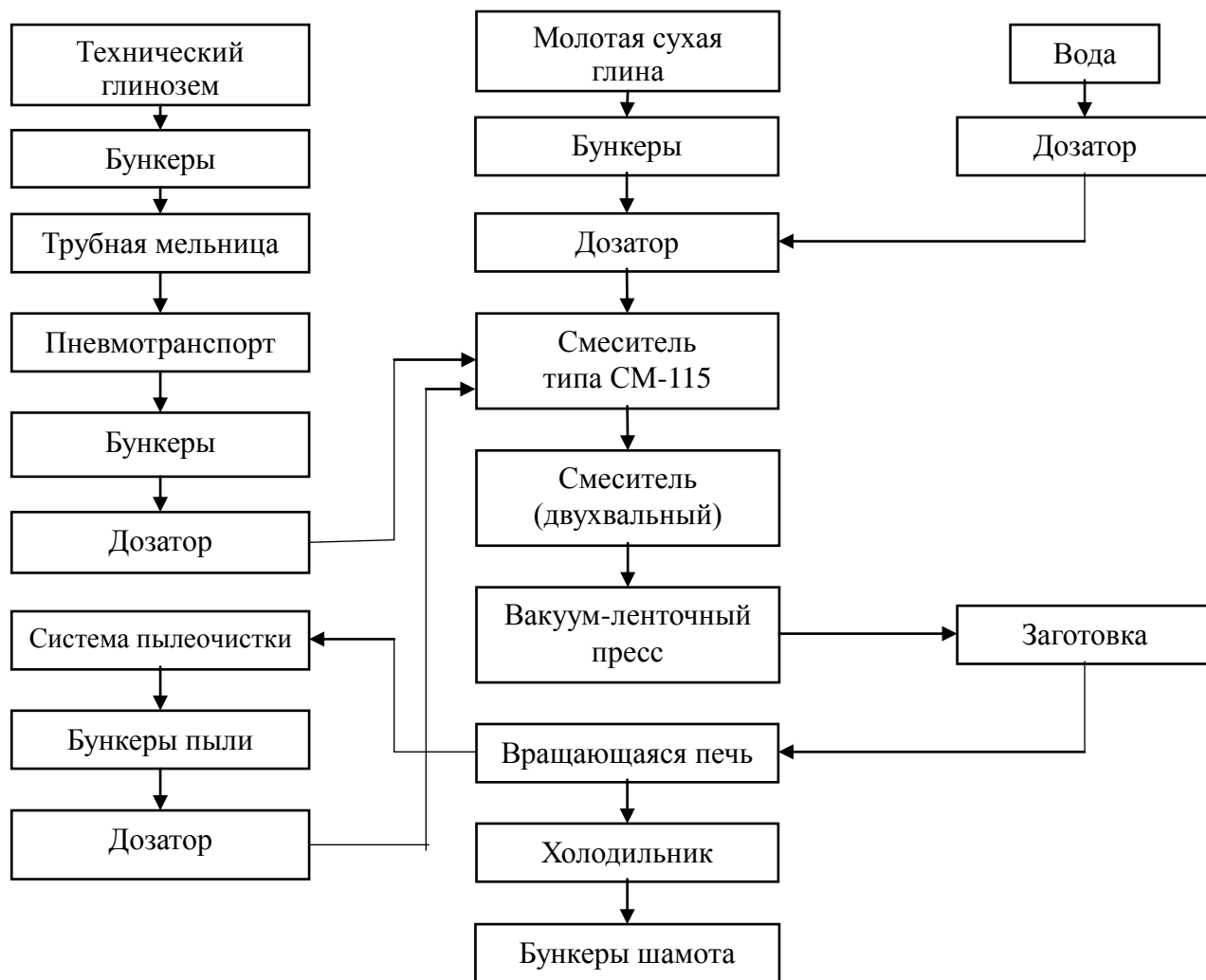


Рис. 1. Технологическая схема производства высокоглиноземистого шамота на основе технического глинозема

В настоящее время высокоглиноземистый шамот (рис. 2) получают на основе технического глинозема, стоимость которого составляет 22000 руб. за 1 тонну. Технический глинозем плохо спекается, поэтому его подвергают тонкому помолу. Расход электроэнергии при помоле составляет около 60 кВт·ч/т [2].

Вместо технического глинозема можно использовать природное сырье – бокситы. Это позволит создать ресурсосберегающую технологию, что так актуально в настоящее время.

Лабораторные исследования показали, что шихта для производства высокоглиноземистых огнеупоров должна состоять из 60 % бокситового шамота и 40 % смеси совместного помола мелкой фракции шамота с 25 % каолина. Обжиг необходимо проводить при температуре 1500 °С. Обожженные образцы имели следующие свойства: открытая пористость – 22 %, предел прочности при сжатии 35 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 24701–81.

Таким образом, использование бокситов в производстве высокоглиноземистых огнеупоров позволит получать не только качественные огнеупоры, но и сберечь около 400 кг технического глинозема на 1 тонну изделий, а при использовании смеси совместного помола с бокситовым шамотом – до 650 кг, и ис-

ключить из технологии одну из дорогостоящих технологических операций – тонкий помол технического глинозема. Экономия электроэнергии при этом составит 39 кВт·ч.

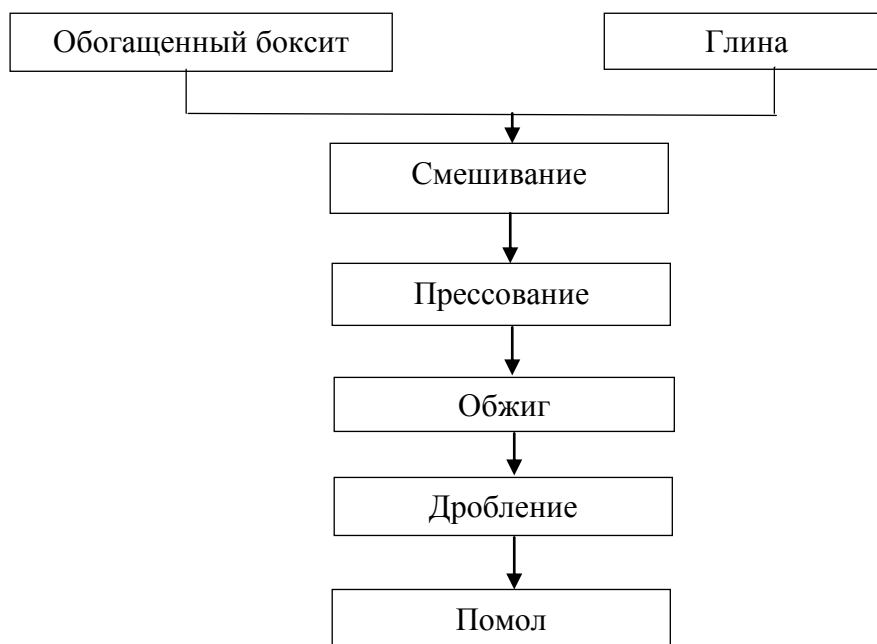


Рис. 2. Технологическая схема производства высокоглиноземистого шамота на основе боксита

Список литературы

1. Карклит А. К., Тихонова Л. А. Огнеупоры из высокоглиноземистого сырья. М. : Металлургия, 1974. 152 с.
2. Кашеев И. Д. Производство огнеупоров. М. : Металлургия, 1993. 256 с.

УДК 681.587

Белозеров А. С. Пирумян Н. М.
Уральский федеральный университет,
Sarapulovfn@yandex.ru

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов» [1]. Суть мехатроники состоит в объединении механики и электроники, в отличие от электромеханики, появившейся в свое время на стыке механики и электротехники. Базовыми объектами изучения мехатроники является мехатронный модуль, который выполняет движения по одной управляе-

мой координате. Из таких модулей как из функциональных кубиков komponуются сложные системы модульной архитектуры [2, 3].

Мехатронные модули могут объединять в одном корпусе несколько компонентов, например двигатель, редуктор и датчики. Многие современные системы являются мехатронными или используют идеи мехатроники, поэтому постепенно мехатроника становится «наукой обо всем».

На рисунке виден синергетический характер интеграции составляющих элементов мехатронных объектов. Синергия – это совместное действие, направленное на достижение единой цели. При этом важно, что составляющие части не просто дополняют друг друга, а объединяются таким образом, что образованные системы обладают качественно новыми свойствами.



Составные части мехатроники

В мехатронике все энергетические и информационные потоки направлены на достижение единой цели в реализации заданного управляемого движения. Мехатронные системы предназначены для реализации заданного движения. Критерий качества выполнения движения мехатронных систем – проблемное ориентирование, т. е. оно определяется постановкой конкретной прикладной задачи. Специфика задач автоматизированного машиностроения состоит в реализации перемещений выходных звеньев рабочего органа технологической машины (инструмент на станке). При этом необходимо координировать управление пространством перемещения мехатронных систем с управлением различными внешними процессами.

Во многих областях техники мехатронные системы приходят на смену традиционным механическим машинам, которые уже не соответствуют современным качественным требованиям. Мехатронный подход в построении машин нового поколения заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к интеллектуальным, электронным, компьютерным, информационным компонентам, которые легко перепрограммируются под новую задачу и при этом являются относительно дешевыми. Анализ производственных машин показывает, что доля механической части сократилась с 70 % в начале 90-х годов до 25–30 % в настоящее время. Принципиально важно подчеркнуть, что мехатронный подход в проектировании предполагает не расширение, а именно замещение функций, традиционно выполняемых механическими элементами системы, на электронные и компьютерные блоки [4].

Необходимо отметить, что тенденция перехода от чисто механических к мехатронным технологиям в современном машиностроении не закрывает меха-

нику. Наоборот, стимулирует ее развитие на фоне с интеллектуальными компонентами в рамках единой мехатронной системы. Системный подход диктует новые требования к встроенным механическим и гибридным компонентам, что в свою очередь ведет к развитию новых технологий и конструкторских решений в области механики, и это приводит к серьезному росту электро- и ресурсосбережений, к развитию возобновляемых источников энергии.

Применение мехатроники в оптическом производстве позволило существенно уменьшить массу и линейные размеры оборудования, увеличило надежность отдельных узлов, а следовательно, и всего оборудования в целом.

Список литературы

1. Мехатроника [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 18.11.2014).
2. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учеб. пособие. СПб. : Лань, 2012. 608 с.
3. Мехатроника, автоматизация, управление [Электронный ресурс]. URL: <http://mau.ejournal.ru/> (дата обращения: 18.11.2014).
4. Мехатроника [Электронный ресурс]. URL: <http://mechatronica-journal.stankin.ru/> (дата обращения: 18.11.2014).

УДК 691.54

Богомолова А. Л., Афанасьева М. А., Капустин Ф. Л., Венгеров А. С.
Уральский федеральный университет,
m.a.afanasyeva@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Использование техногенных отходов становится все более необходимым для многих цементных заводов в связи с истощением запасов природного сырья и необходимостью интенсификации и повышения экономической эффективности производства цемента. Металлургия традиционно является одним из главных поставщиков техногенного сырья для промышленности строительных материалов. Наиболее широкое применение получили доменные шлаки черной металлургии. Сравнительно мало изучены возможности использования шлаков сталеплавильных производств и цветной металлургии.

Отходами медеплавильного производства являются не только гранулированные шлаки, но и фосфогипс (ФГ), которые складываются в отвалах и загрязняют окружающую природную среду. Поэтому все более актуальной темой становится изучение возможности их комплексной переработки в производстве строительных материалов.

Особенностью медеплавильных шлаков является то, что они кристаллизуются в течение одного часа при температуре 900–1250 °С, и дальнейшее, даже быстрое, остывание не оказывает существенного влияния на его структуру.

Медный гранулированный шлак (МГШ) имеет высокую плотность и твердость, состоит в основном из стекла, фаялита и магнетита.

Предложена технология комплексной переработки отвального ФГ с извлечением редкоземельных металлов и получением очищенного от водорастворимых солей гипсосодержащего продукта. Продукт переработки ФГ ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (СУМЗ) имеет высокие влажность и дисперсность. Нами разработана технология его окускования с получением искусственного гипсового камня (ИГК) с составом и свойствами, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 4013-82.

Исследовано влияние гранулированного ИГК и медного шлака на размалываемость и физико-механические свойства портландцемента с минеральными добавками и шлакопортландцемента.

Подобраны 6 составов цемента двух типов ЦЕМ II и ЦЕМ III с оптимальным содержанием ИГК 5,5 % (табл. 1). Цементы готовили совместным помолом клинкера и минеральных добавок, взятых в определенном количестве, до тонкости помола 3,0–3,5 %. В качестве основной минеральной добавки применяли доменный гранулированный шлак (ДГШ) 2 сорта ОАО «Мечел» и МГШ ОАО «Святогор».

Таблица 1

Состав исследованных цемента

Номер состава	Вещественный состав цемента, мас. %				
	клинкер	ДГШ	МГШ	гипсовый камень	ФГ
1	80	20	–	5	–
2	80	20	–	–	5,5
3	80	–	20	–	5,5
4	60	40	–	5	–
5	60	40	–	–	5,5
6	60	–	40	–	5,5

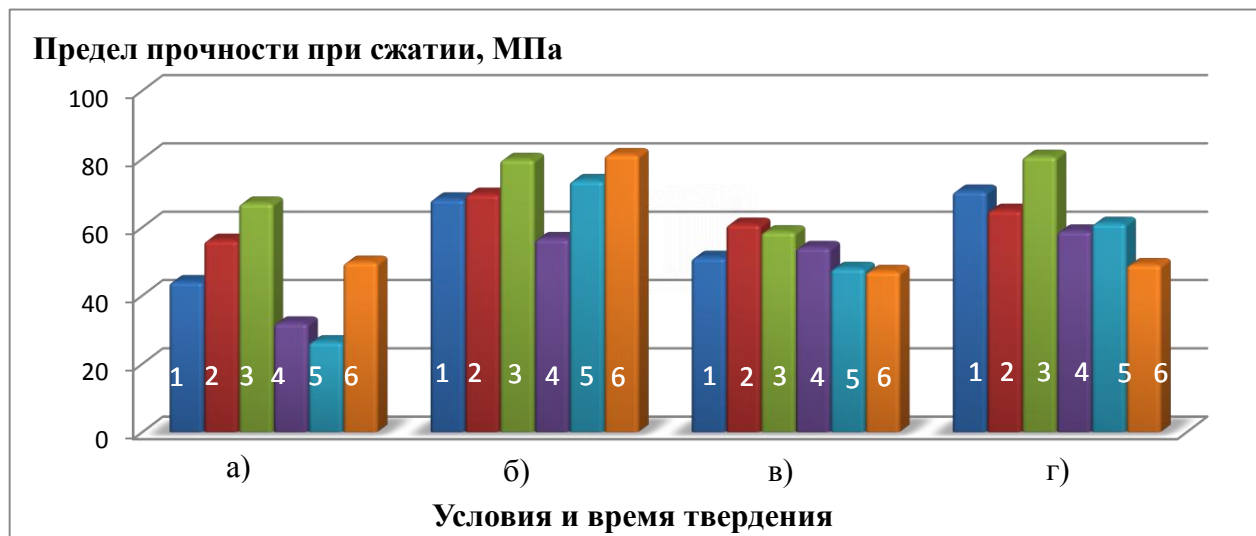
Добавка медного шлака по сравнению с ДГШ увеличивает продолжительность помола цемента при равной дисперсности вяжущих на 15–20 % (табл. 2). Увеличение количества шлака также ухудшает размалываемость цемента.

Таблица 2

Результаты испытаний цемента

Номер состава по табл. 1	Время помола, мин	Тонкость помола, %	Удельная поверхность, м ² /кг	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин	
					начало	конец
1	140	3,3	279	26,2	3-30	4-20
2	140	3,3	275	26,2	4-10	5-50
3	160	3,0	275	23,3	5-40	6-40
4	150	3,0	267	26,9	5-00	6-00
5	150	2,9	290	26,9	6-20	7-00
6	180	3,0	270	24,7	6-40	9-20

Введение гранулированного ИГК вместо природного гипсового камня замедляет схватывание цементов, особенно в присутствии добавки МГШ. Кроме того, портландцемент и шлакопортландцемент с добавками доменного или медного шлаков и ИГК имеют прочность при сжатии, более высокую по сравнению с цементами, содержащими указанные шлаки и природный гипсовый камень (рисунок).



Влияние гранулированного ИГК и медного шлака на прочность цемента:
 номер столбца соответствует составу цемента (по табл. 1) а и б – нормальное твердение, через 3 и 28 сут.; в и г – пропаривание, через 1 и 28 сут.

Таким образом, показано, что гранулированный ИГК, полученный из продуктов переработки ФГ, и медный шлак можно совместно использовать в производстве цементов общестроительного назначения взамен природных материалов. Особенно эффективно их применение для производства портландцемента с минеральной добавкой типа ЦЕМ II А/Ш.

УДК 621.313

Быков П. Б., Гафт Д. Е., Пирумян Н. М.
 Уральский федеральный университет,
 Sarapulovfn@yandex.ru

ДИСКРЕТНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В последние годы во многих странах бурно развивается процесс создания автоматизированных рабочих мест и гибких производственных систем. Большинство роботов, станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и периферийных устройств, созданных с целью автоматизации, основано на использовании шаговых двигателей, управление которыми можно осуществить от микропроцессора или центральной ЭВМ, что, безусловно, ведет к энерго- и ресурсосбережению.

Шаговый двигатель – это электромеханическое устройство, которое преобразует электрические импульсы в дискретные механические перемещения [1]. Шаговые двигатели обладают некоторыми уникальными свойствами, что делает порой их исключительно удобными для применения или даже незаменимыми.

Преимущества шаговых двигателей:

- угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель;
- двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки (если обмотки запитаны);
- прецизионное позиционирование и повторяемость. Точность 3–5 % от величины шага;
- возможность быстрого старта;
- высокая надежность, связанная с отсутствием щеток, срок службы шагового двигателя фактически определяется сроком службы подшипников;
- однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи;
- возможность получения очень низких скоростей вращения для нагрузки, присоединенной непосредственно к валу двигателя без промежуточного редуктора;
- может быть перекрыт довольно большой диапазон скоростей, скорость пропорциональна частоте входных импульсов.

Существуют три основных типа шаговых двигателей:

- двигатели с переменным магнитным сопротивлением;
- двигатели с постоянными магнитами;
- гибридные двигатели.

Шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением имеют несколько полюсов на статоре и ротор зубчатой формы из магнитомягкого материала (рис. 1).

Намагниченность ротора отсутствует. Для простоты на рисунке ротор имеет 4 зубца, а статор имеет 6 полюсов. Двигатель имеет 3 независимые обмотки, каждая из которых намотана на двух противоположных полюсах статора [2]. Такой двигатель имеет шаг 30 град. Иногда поверхность каждого полюса статора выполняют зубчатой, что вместе с соответствующими зубцами ротора обеспечивает очень маленькое значение угла шага, порядка нескольких градусов.

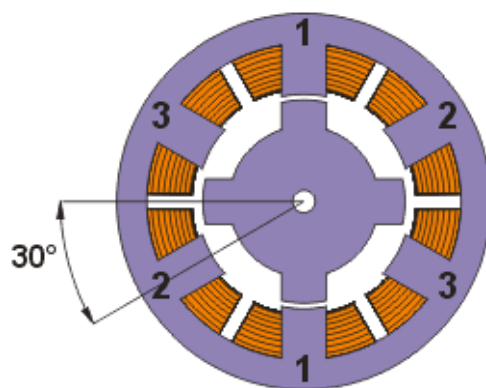


Рис. 1. Двигатель с переменным магнитным сопротивлением

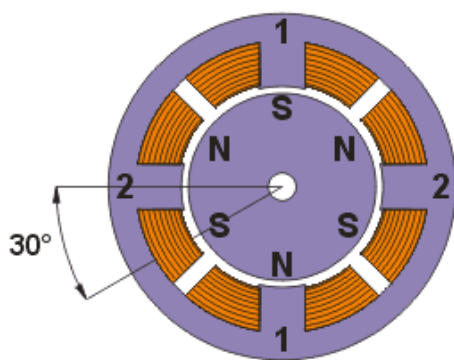


Рис. 2. Двигатель с постоянными магнитами

Двигатели с постоянными магнитами состоят из статора, который имеет обмотки, и ротора, содержащего постоянные магниты (рис. 2). Чередующиеся полюса ротора имеют прямолинейную форму и расположены параллельно оси двигателя. Благодаря намагниченности ротора в таких двигателях обеспечивается большой магнитный поток и, как следствие, большой момент, чем у двигателей с переменным магнитным сопротивлением [3].

Показанный на рис. 2 двигатель имеет 3 пары полюсов ротора и 2 пары полюсов статора. Двигатель имеет 2 независимые обмотки, каждая из которых намотана на двух противоположных полюсах статора. Такой двигатель, как и рассмотренный ранее двигатель с переменным магнитным сопротивлением, имеет величину шага 30 град. При включении тока в одной из катушек, ротор стремится занять такое положение, когда разноименные полюса ротора и статора находятся друг напротив друга. Для осуществления непрерывного вращения нужно включать фазы попеременно. На практике двигатели с постоянными магнитами обычно имеют 48–24 шага на оборот (угол шага 7,5–15 град).

Гибридные двигатели являются более дорогими, чем двигатели с постоянными магнитами, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400 (угол шага 3,6–0.9 град.) [4].

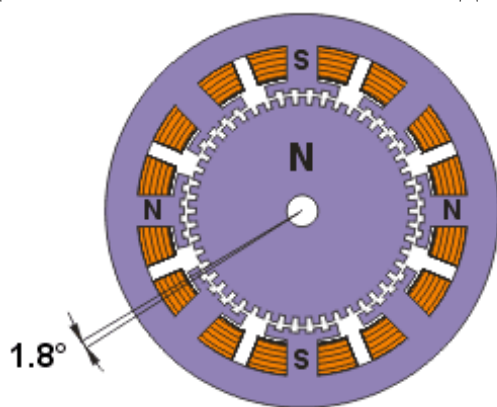


Рис. 3. Гибридный двигатель

Они сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами [4]. Ротор гибридного двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении (рис. 3).

Ротор разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит.

Таким образом, зубцы верхней половины ротора являются северными полюсами, а зубцы нижней половины — южными. Кроме того, верхняя и нижняя половины ротора повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок [5].

Зубчатые полюсные наконечники ротора, как и статор, набраны из отдельных пластин для уменьшения потерь на вихревые токи. Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов, в отличие от основных полюсов, на которых расположены обмотки.

Круг применения шаговых двигателей очень широк. Шаговые электродвигатели применяются в приводах машин и механизмов, работающих в старто-стопном режиме, или в приводах непрерывного движения, где управляющее воздействие задается последовательностью электрических импульсов, например в станках с ЧПУ, которые широко применяются в оптическом производстве, что приводит к энерго- и ресурсосбережению. Практически ни одно производство сейчас не может без них обойтись. Периферийные устройства ЭВМ, печатная техника, 3D-принтеры – все это уже не может существовать без применения шаговых двигателей. Также шаговые двигатели используются для точных перемещений в плоскостях, например XY-столов, что, несомненно, важно в оптическом производстве.

Список литературы

1. Емельянов А. В., Шипин А. Н. Шаговые двигатели : учеб. пособие. Волгоград : ВолГТУ, 2005.
2. Шаговый электродвигатель [Электронный ресурс]. URL: <http://www.electromonter.info/handbook/09/StepperMotor> (дата обращения: 08.11.2014).
3. Степмотор. Шаговые двигатели. Мотор-редукторы [Электронный ресурс]. Статьи. URL: <http://www.steppmotor.ru/articles/> (дата обращения: 08.11.2014).
4. TORUS / Обзорные статьи [Электронный ресурс]. URL: <http://www.normalizator.com/> (дата обращения: 08.11.2014).

УДК 628.38

Вараева Е. А., Церковникова К. С., Аксенов В. И.
Уральский федеральный университет,
Bblka6jiy4a@bk.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В ходе переработки руд на горно-обогатительных комбинатах (ГОК) образуется огромное количество отходов, в том числе сточных вод, загрязненных кислотами и солями тяжелых металлов. Стоки ГОК являются огромной проблемой, которая на сегодняшний день не имеет удовлетворительного решения. Главный аспект проблемы – очищенная вода практически никогда не может быть использована повторно из-за территориального расположения комбинатов и постоянного поступления новых порций стоков. В настоящее время в качестве решения широко применяется сброс этой воды в водоем, что негативно сказывается на окружающей среде ввиду низкого качества очищенной воды.

Исследования по разработке технологии обработки шахтных и подотвалных сточных вод проводились нами на различных стоках: сильно минерализованные стоки ОАО «Учалинский ГОК» (республика Башкортостан) и с менее агрессивным составом, образующиеся на Сибайском филиале ОАО «Учалинский ГОК», а также на монголо-российском КОО «Предприятие Эрдэнэт».

Часть опытов проводилась на наиболее сложных по составу сточных водах ОАО «Учалинский ГОК». Рассматриваемые сточные воды являются типовыми для стоков данной отрасли промышленности. Результаты анализа проб сточных вод Учалинского ГОК за 2010–2012 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние результаты анализа сточных вод ОАО «Учалинский ГОК»

Поз.	Наименование ингредиента	Единица измерения	Место отбора проб		ПДК культ.-быт.
			Подотвальная вода	Шахтная вода	
1	Медь	мг/дм ³	30,1	0,85	1,0
2	Цинк	мг/дм ³	297,0	252,8	1,0
3	Кальций	мг/дм ³	713,4	809,6	–
4	Магний	мг/дм ³	404,9	231,0	50
5	Сульфаты	мг/дм ³	5362,3	2839,2	500,0
6	Хлориды	мг/дм ³	70,5	68,8	350,0
7	Марганец	мг/дм ³	51,7	16,7	0,1
8	Железо общее	мг/дм ³	196,1	33,4	0,3
9	Алюминий	мг/дм ³	–	0,86	0,2

В ходе исследования была разработана технология, позволяющая снизить содержание основных примесей до концентраций, допустимых для сброса в водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Эта технология основывается на известных методах, не требующих значительных экономических затрат, и позволяет улучшить качество обрабатываемых стоков с использованием существующих сооружений и естественных образований рельефа и таким образом, практически не требует капитального строительства на объекте.

В основе лежит раздельная обработка шахтных и подотвальных сточных вод, поскольку концентрации примесей в них значительно отличаются.

В кислых рудничных водах с pH около 2,7 все железо находится в окисленной трехвалентной форме. Над ионной и гидроксидной формами Fe^{3+} и $Fe_3(OH)_4^{5+}$, суммарное содержание которых не превышает 15 %, доминируют сульфатные комплексы $FeSO_4^{4+}$ и $Fe(SO_4)_2^{2-}$ (84 %). Медь и цинк находятся в форме активированных нейтральных сульфатных комплексов $CuSO_4^0_{(aq)}$ и $ZnSO_4^0_{(aq)}$ и в свободной ионной форме до 63 %. Цинк образует также отрицательно заряженный комплекс $Zn(SO_4)_2^{2-}$.

Основным методом очистки в исследовании принято перещелачивание сточных вод (до $pH = 11$) с целью связывания максимального количества сульфатов в стабильную (нерастворимую) форму. Для интенсификации процесса образования нерастворимого гипса в обрабатываемую воду вводится затравка из оборотного осадка влажностью 92 %, получаемого при отстаивании.

Известкование позволяет попутно переводить в осадок такие металлы, как Zn, Pb, Cu, Cr, Cd. Величины pH начала и конца выпадения гидроксидов основных металлов, присутствующих в шахтных и подотвальных водах, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Растворимость некоторых гидроксидов в зависимости от pH воды

Гидроксиды	$Fe(OH)_3$	$Cr(OH)_3$	$Zn(OH)_2$	$Cu(OH)_2$
Начало выпадения	4,1	6,8	8,0	5,9
Начало растворения	14,0	12,0	10,5	6,69

Для интенсификации осаждения металлов применяется флокулянт. При разработке технологии были исследованы различные реагенты; к применению рекомендованы флокулянты анионного типа: *Praestol 2540*, *Flopat AN905 SH*, Аквапол.

При перещелачивании в сточные воды вводится избыточное количество кальция. Рекарбонизация смеси стоков производится путем продувки стоков углекислым газом с интенсивностью $2 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ на 1 м^3 стока в час. После рекарбонизации pH стоков достигает 8,5, жесткость снижается до $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3$.

Для дальнейшего снижения содержания примесей в сточных водах предусматривается их обработка на биоплато, заселенных высшими водными растениями (эйхорния, тростник обыкновенный, рогоз узколистный, осока дернистая). Для организации биоплато возможно использование природных и природно-техногенных ландшафтов [1].

При необходимости получения воды высокого качества для ее последующего использования на предприятии могут быть использованы мембранные и термические методы очистки стоков.

Во всех пробах после каждого этапа обработки была определена концентрация цинка, меди и железа колориметрическими методами. Результаты представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Итоговая таблица результатов по анализу содержания цинка, меди и железа. Шахтные воды

Загрязнитель	Единица измерения	Этапы обработки				
		Механическая очистка	Нейтрализация	Флокулирование	Рекарбонизация	Биоплато
Медь	мг/дм^3	2,28	0,017	0,013	0,008	0,001
Цинк	мг/дм^3	27,5	0,090	0,041	0,034	0,010
Железо общее	мг/дм^3	45,0	0,440	0,300	0,280	0,100

Таблица 4

Итоговая таблица результатов по анализу содержания цинка, меди и железа.

Подотвальные воды

Загрязнитель	Единица измерения	Этапы обработки				
		Механическая очистка	Нейтрализация	Флокулирование	Рекарбонизация	Биоплато
Медь	мг/дм^3	2,38	0,0087	0,008	0,0069	0,001
Цинк	мг/дм^3	28,75	0,067	0,026	0,020	0,010
Железо общее	мг/дм^3	17,50	0,700	0,350	0,230	0,100

Применение предлагаемой технологии обработки стоков горно-обогатительных комбинатов позволит достичь высокой эффективности очистки с минимальным энергопотреблением, а также предотвратить загрязнение водо-

емов и почв токсичными шламами и концентратами. Такое решение позволит улучшить экологическую обстановку в районах расположения комбинатов, снизить потребление отрасли водных ресурсов за счет создания оборотных циклов, почвенных ресурсов, которые в настоящее время используются для создания шламонакопителей.

Список литературы

1. Вдовина И. В. Снижение антропогенной нагрузки на малые реки в зоне влияния горно-рудного промышленного предприятия: на примере республики Башкортостан: дис... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 24 с.
2. Селицкий Г. А., Уласовец Е. А., Ермаков Д. В. Технологии очистки сточных вод горно-рудных предприятий // Инновационные технологии в системах производственного водоснабжения: сб. статей. Екатеринбург, 2013. С. 32–48.
3. Селицкий Г. А., Ермаков Д. В. Очистка природных сточных вод от сульфатов // Инновационные технологии в системах производственного водоснабжения: сб. статей. Екатеринбург, 2013. С. 82–93.
4. Баглай Е. Б., Баглай С. В., Риянова Э. А. Опыт промышленного сравнения методов очистки сточных вод от сульфат-ионов // Чистая вода России : сборник статей. Екатеринбург, 2011. С. 218–221.

УДК 699.86

Вершинина А. С., Бакрунова Т. С.
Самарский государственный технический университет,
nastena-versh@yandex.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОНА

Автоклавный газобетон «теплон» – строительный материал с уникальными характеристиками:

- высокая прочность позволяет возводить однослойные наружные и внутренние стены зданий высотой до 5 этажей;
- теплоизоляционные свойства лучше, чем у деревянных конструкций;
- блоки крупного формата обеспечивают высокую скорость работы и ровность кладки;
- негорючесть и огнестойкость достигается 100%-ным минеральным составом;
- биостойкость, так как теплота – это камень, и она не поражается грибами, насекомыми и другими организмами, а также не разрушается под действием УФ-излучения и других атмосферных факторов.

Системы, выполненные из блоков «теплон», являются наиболее технологичными.

Для обеспечения комфорта в помещении стена должна иметь ряд свойств:

- быть «теплой» на ощупь. Это достигается низкой теплопроводностью и высоким сопротивлением теплопередаче теплона;

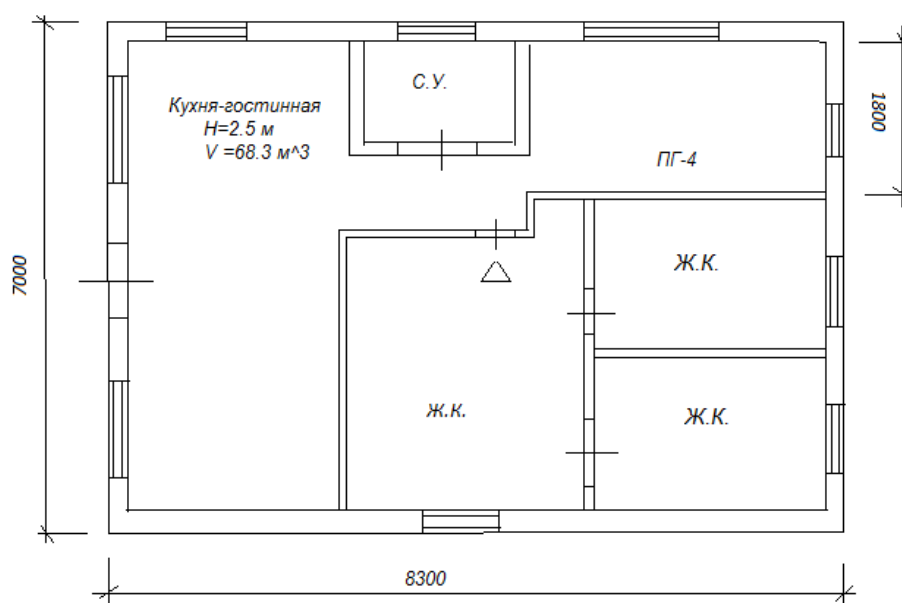
- обладать достаточной проницаемостью, то есть способностью «дышать»;
- быть теплоинерционной, т. е. чтобы помещение быстро не нагревалось днем и не охлаждалось ночью (как это происходит в щитовых домиках с легким утеплителем);
- обеспечивать хорошую звукоизоляцию (R_w 44–50 дБ).

Стена из блоков «теплон» соответствует всем этим параметрам и в настоящее время является наиболее комфортной.

Теплон обладает низкой плотностью при высокой прочности, является оптимальным материалом для строительства малоэтажных зданий (таблица).

Сравнительная таблица теплотехнических свойств материала

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м · °С
Автоклавный газобетон	D 500	0,116
Силикатный кирпич	D 1800	0,81
Дерево	D 500	0,18
Пенобетон	D 800	0,37



План дома из газобетонных блоков толщиной 200 мм

Наружные стены здания должны обеспечивать санитарно-гигиенический комфорт в помещении.

По действующим нормам принято, что такой комфорт будет обеспечен, если в самую морозную погоду перепад температур между внутренней по поверхности наружной стены и внутренним воздухом будет не более 4 градусов.

Для большинства районов Среднего Поволжья это требование обеспечивается стеной при сопротивлении теплопередаче, равном 1,3–1,5 (м² · °С/Вт). А таким сопротивлением теплопередаче обладает кладка из автоклавных газобетонных блоков теплон толщиной 150–200 мм (в зависимости от плотности 400 или 500 кг/м³). При этом такие дома соответствуют действующим строительным нормам и обеспечивают комфорт проживания.

Тепловой комфорт в помещении обеспечивается газобетонной стеной толщиной 150–200 мм. Именно такой толщины стены достаточно для дачного дома, который в холодный сезон эксплуатируется эпизодически, от случая к случаю. Для двухэтажного дачного дома (рисунок) достаточно кладки из блоков толщиной 200 мм как по несущей способности, так и по теплотехническим характеристикам. Дополнительного утепления такой дом не требует.

Теплон – экологически чистый материал, он официально разрешен к применению в детских и медицинских учреждениях. Теплон «дышит», потому что он обладает высокой паро- и воздухопроницаемостью. Это свойство позволяет избежать появления грибка и плесени на оштукатуренной поверхности. Также это свойство теплона позволяет поддерживать баланс влажности в помещении, что также благоприятно сказывается на самочувствии жильцов.

Список литературы

1. ГОСТ 31359-2007 Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия. Введ. 2009-01-01. М. : МНТКС, 2008. 9 с.
2. ГОСТ 31360-2007 Изделия стеновые не армированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Введ. 2009-01-01. М. : МНТКС, 2008. 20 с.
3. СНиП 23–02–2003. Тепловая защита зданий. Введ. 2004–01–01. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 32 с.

УДК 661.682

Габдуллин А. Н., Катышев С. Ф., Никоненко Е. А., Вайтнер В. В.
Уральский федеральный университет,
gan1105@mail.ru

ВСКРЫТИЕ СЕРПЕНТИНИТА АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

Серпентинит – отход асбестообогащительной промышленности, миллиарды тонн которого уже накопились в отвалах и представляют опасность для окружающей среды. В то же время, будучи ультраосновным гидросиликатом магния, он может быть переработан гидрометаллургическими способами с получением соединений магния, диоксида кремния и его производных. В большинстве случаев для вскрытия используют соляную, серную или азотную кислоту. Одним из наиболее перспективных является азотнокислотный метод, описанный в патенте [1].

На эффективность выщелачивания серпентинита будут влиять следующие параметры: химический и минералогический состав сырья, температура и длительность процесса, количество азотной кислоты.

В исследовательской работе использовали серпентинит Баженовского месторождения следующего состава (% мас.): SiO_2 – 42; MgO – 38–40; Fe_2O_3 – 3–5; FeO – 1,0; Cr_2O_3 – 0,28; NiO – 0,23; MnO – 0,25; Al_2O_3 – 1,9; CaO – 1,95; п. п. п. – 10–12. Результаты рентгенофазового анализа приведены в табл. 1. С азотной кислотой не взаимодействуют только магнетит и диопсид. Остальные силикаты растворяются в кислотах с выделением аморфного диоксида кремния [2].

Таблица 1

Минералогический состав серпентинита, установленный рентгенофазовым анализом

Минерал	Формула	m, % мас.
Нимит	$(\text{Ni,Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	13
Анортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	5
Флогопит	$\text{K}_2\text{Mg}_6(\text{Si}_{0,75}\text{Al}_{0,25})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{1,8}\text{F}_{2,2}$	5
Форстерит	Mg_2SiO_4	14
Шабазит	$\text{Ca}_{1,85}(\text{Al}_{3,7}\text{Si}_{8,3}\text{O}_{24})$	2
Бементит	$\text{Mn}_5\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_6$	11
Магнетит	$\text{Fe}^{+2}\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$	2
Марганца (IV) хрома (IV) оксид	MnCrO_4	4
Диопсид	$(\text{Ca}_{0,959}\text{Ti}_{0,041})(\text{Mg}_{0,987}\text{Al}_{0,013})(\text{Si}_{1,905}\text{Al}_{0,095}\text{O}_6)$	2
Лизардит-1Г	$(\text{Mg,Al})_3[(\text{Si,Fe})_2\text{O}_5](\text{OH})_4$	42
Цеолит А (Ca)	$\text{Ca}_{5,6}\text{Al}_{12,3}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}$	1

Азотнокислотному выщелачиванию подвергали серпентинит с размером частиц меньше 0,25 мм при нагревании и перемешивании.

На рис. 1–3 представлены результаты исследования влияния длительности процесса, температуры и количества азотной кислоты на степень выщелачивания оксида магния и оксида железа (III). Анализ графических данных позволил определить оптимальные условия проведения вскрытия серпентинита растворами азотной кислоты: длительность – 3 часа; стехиометрическое количество азотной кислоты в отношении всех оксидов металлов; температура – 100–116 °С. При этих условиях выход оксида магния составляет 81,68 %, оксида железа (III) – 71,9 %; потеря массы исходного серпентинита – 48,50 % (рис. 1–3). В табл. 2 представлен состав азотнокислого раствора нитрата магния и кремнеземистого остатка, которые в дальнейшем были направлены на переработку для получения чистого оксида магния и высокочистого диоксида кремния.

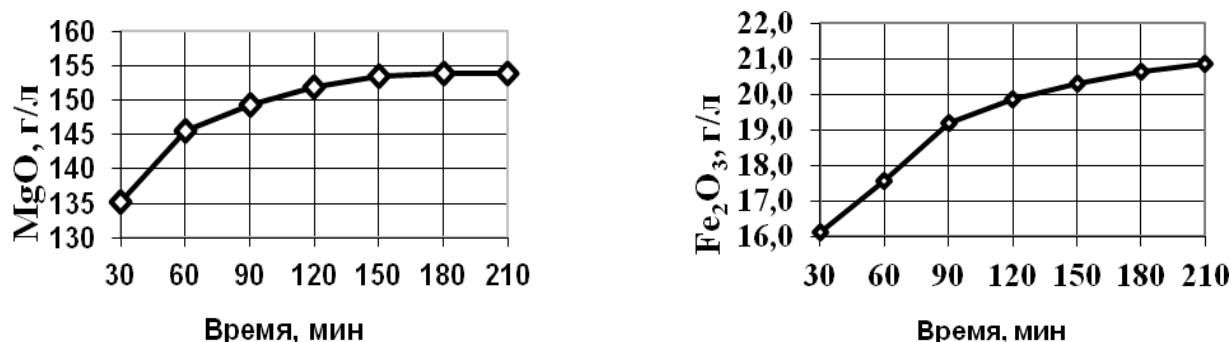


Рис. 1. Зависимость степени извлечения оксида магния и оксида железа (III) от времени протекания процесса

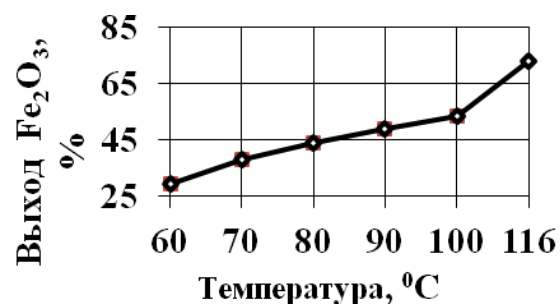
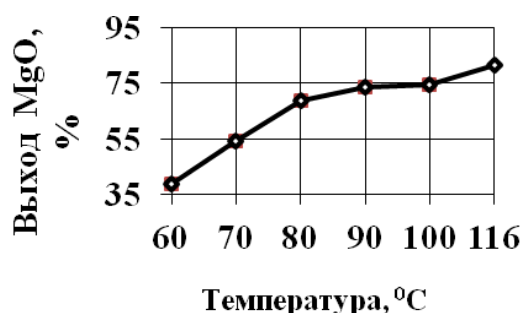


Рис. 2. Влияние температуры на степень извлечения оксида магния и оксида железа (III)

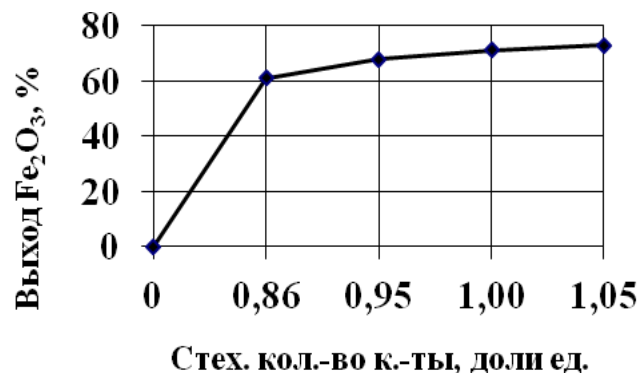
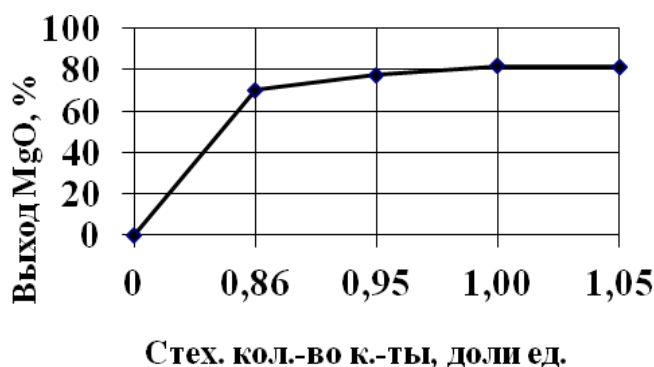


Рис. 3. Влияние количества азотной кислоты на степень извлечения оксида магния и оксида железа (III)

Таблица 2
Содержание определяемых оксидов в остаточном кремнеземе и азотнокислом растворе

№ опыта	Определяемый параметр	Остаточный кремнезем	Азотнокислый раствор
		Результат анализа, % масс.	Результат анализа, г/л
1	Al ₂ O ₃	1,91992	1,285
2	B ₂ O ₃	0,00064	0,034
3	BaO	0,00326	<0,002
4	CaO	1,62120	1,360
5	CoO	0,00718	0,006
6	Cr ₂ O ₃	0,23751	0,119
7	CuO	<0,0002	0,002
8	Fe ₂ O ₃	6,09338	4,484
9	K ₂ O	0,06188	0,141
10	Li ₂ O	<0,0002	<0,001
11	MgO	4,23785	32,077
12	Mn ₂ O ₃	0,05181	0,098
13	Na ₂ O	0,58921	0,012
14	NiO	0,07424	0,229
15	SO ₃	0,51114	0,104
16	SiO ₂	84,01992	0,005
17	SrO	0,00289	0,001
18	TiO ₂	0,10555	0,006
19	V ₂ O ₅	0,00610	0,004
20	ZnO	0,00436	0,003

Азотнокислотное вскрытие измельченного серпентинита при указанных оптимальных условиях позволяет наиболее полно извлечь оксид магния и другие металлы, получить более чистый кремнеземистый остаток, который можно использовать в качестве сырья для строительных материалов, наполнителей в полимерной и резинотехнической промышленности, а также для получения чистого высокодисперсного диоксида кремния (белой сажи, аэросила и т. д.).

Азотнокислый раствор нитрата магния направляется на очистку и производство оксида магния по описанной в патенте [1] технологии, обеспечивающей комплексную переработку отходов асбестообогатительной промышленности.

Список литературы

1. Способ переработки серпентинита: пат. 2292300 РФ / Калиниченко И. И. (RU), Габдуллин А. Н. Опубл. 27.01.2007, Бюл. № 3.
2. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М. : Книжный дом «Университет», 2007. 720 с.

УДК 628.38

Горбич Т. А., Царев Н. С., Беляев М. А.
Уральский федеральный университет,
tatiana_vta@mail.ru

ФЛОКУЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ТИТАНО-МАГНИЕВЫХ ЗАВОДОВ

В Российской Федерации предприятиями титано-магниевого отрасли являются ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА» и ОАО «Соликамский магниевый завод». Получаемая на данных предприятиях продукция обладает высоким качеством и ее используют в различных отраслях промышленности в нашей стране и за рубежом.

Особенностью используемых на отечественных титано-магниевых заводах производственных технологий является образование значительного количества твердых, жидких и газообразных отходов на всех стадиях производства [1, 2].

В процессах переработки магниевых- и титансодержащего минерального сырья выделяются токсичные хлорсодержащие газы, пыль и возгоны металлов.

Одной из стадий очистки выбросов в атмосферу является последовательное орошение технологических газов в скрубберах водой и суспензией гидроксида кальция. В результате этого практически непрерывно образуются солянокислые сточные воды и сточные воды, содержащие активный оксид кальция, гипохлорит кальция и другие компоненты.

Указанные производственные сточные воды обезвреживают от хлора, нейтрализуют и направляют в отстойники. После частичного осветления вода со значительным количеством взвешенных веществ отводится в бассейн р. Ка-

ма, что наносит ущерб природной среде [3]. По этой причине задача повышения эффективности очистки производственных сточных вод титано-магниевого завода Российской Федерации является чрезвычайно актуальной.

Одним из наиболее распространенных методов интенсификации процесса осветления воды является флокуляционная обработка [4].

Нами проведены исследования по выбору типа флокулянта для повышения качества очистки воды от взвешенных веществ с оценкой технологических свойств образующихся осадков.

Объектами исследования являлись «реальные» производственные сточные воды титано-магниевого завода с содержанием соляной кислоты от 5 г/дм³ до 6,5 г/дм³ и производственные сточные воды с содержанием активного оксида кальция от 15 г/дм³ до 50 г/дм³.

Для реагентной обработки воды применены высокомолекулярные флокулянты марки Праестол производства ООО «Промхимсервис» (г. Пермь).

Регламент проведения экспериментов следующий.

1) Смешивание кислотосодержащих сточных вод и сточных вод с активным оксидом кальция. Смешивание осуществляли в течение 120 секунд с интенсивностью, обеспечивающей величину среднего градиента скорости перемешивания, равную 300 с⁻¹. *pH* нейтрализованной воды составляла 9,5–9,7 ед. *pH*.

2) Смешивание нейтрализованной воды с раствором флокулянта. Смешивание осуществляли в течение 120 секунд с интенсивностью, обеспечивающей величину среднего градиента скорости перемешивания, равную 300 с⁻¹. Концентрация рабочего раствора флокулянта составляла 1 г/дм³.

3) Хлопьеобразование в течение 120 секунд с интенсивностью, обеспечивающей величину среднего градиента скорости перемешивания, равную 60 с⁻¹.

4) Седиментация в гравитационных условиях.

5) Отбор и технологический анализ осветленной воды и выделившегося осадка.

В осветленной воде определяли содержание взвешенных веществ, а осадки обезвоживали методами фильтрования и центрифугирования.

Экспериментально установлено, что при обработке воды раствором флокулянта Праестол 2510 происходит лучшая агрегация дисперсной фазы с образованием более плотного осадка, занимающего меньший объем. При добавлении этого полиэлектролита наряду с флокуляцией имеет место реакция с противоположно заряженными частицами производственных сточных вод. Из-за этого образуются менее плотные, но более прочные хлопья, сжимающиеся в дальнейшем интенсивнее.

Оптимальный массовый расход флокулянта Праестол 2510, обеспечивающий наименьшую концентрацию взвешенных веществ в воде около 5 мг/дм³, составляет 0,4 г/кг твердой фазы сточных вод.

В таблице представлены основные технологические свойства образующихся осадков.

Основные технологические свойства осадков

Тип флокулянта Праестол	2500	2510	2530	611 ВС	650 ВС	853 ВС
Удельный объем осадка, % от объема очищенной воды	18	24,8	27,4	32	48,8	52,2
Содержание твердой фазы в осадке, кг/м ³	45,7	33,1	27,4	25,7	16,8	15,7
Удельное массовое сопротивление слоя осадка фильтрованию, м/кг	$4,3 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$0,7 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{12}$

Сопоставляя полученные данные со значениями удельного сопротивления труднофильтруемых осадков, например природных вод (от $7 \cdot 10^{12}$ м/кг до $140 \cdot 10^{12}$ м/кг) и хозяйственно-бытовых сточных вод (от $5 \cdot 10^{12}$ м/кг до $50 \cdot 10^{12}$ м/кг), можно сделать вывод, что рассматриваемые осадки являются среднефильтруемыми.

При этом осадки с наибольшим удельным фильтрационным сопротивлением образуются при обработке воды раствором неионного флокулянта Праестол 2500, наименьшим – раствором катионного флокулянта Праестол 611 ВС.

Обрабатывать воду растворами катионных флокулянтов Праестол 611 ВС, Праестол 650 ВС или Праестол 853 ВС нецелесообразно, поскольку в этом случае более 50 % от объема очищенной воды будет составлять осадок.

Учитывая технологические свойства образующихся осадков, для флокуляции твердой фазы предпочтительнее использовать полиэлектролит Праестол 2510.

В процессе механического обезвоживания осадков определено, что ленточные и барабанные вакуум-фильтры не могут быть применены для обезвоживания из-за низкой удельной производительности по сухому веществу (около 1 кг/(м²·ч)) и высокой влажности осадков после фильтрования (более 80 %).

В случае использования осадительной шнековой центрифуги влажность осадков составила порядка 65 % при факторе разделения не менее 1500. Содержание взвешенных веществ в фугате – 50 мг/дм³.

Наилучший результат получен при механическом обезвоживании осадков в камерном фильтр-прессе. При давлении фильтрования от 0,3 МПа до 0,5 МПа влажность осадка – 50 %, удельная производительность по сухому веществу осадка – 9 кг/(м²·ч), содержание взвешенных веществ в фильтрате – 10 мг/дм³.

Таким образом, для механического обезвоживания осадков производственных сточных вод титано-магниевого завода эффективны камерные фильтр-прессы.

Обезвоженный осадок может быть утилизирован, например, в производстве строительных материалов.

Список литературы

1. Уткин Н. И. Производство цветных металлов. 2-е изд. М. : Интермет Инжиниринг, 2004. 442 с.

2. Парфенов О. Г., Пашков Г. Л. Проблемы металлургии титана. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. 279 с.
3. Кудрявский В. П., Голев А. В., Черный С. А. Разработка и обоснование новой концепции технологических процессов обезвреживания и утилизации хлоридных отходов титано-магниевого производства (с получением синтетического карналлита) // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 10. С. 31–36.
4. Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание : в 6 кн. Кн. 6 / В. И. Аксенов, Л. В. Гандурина [и др.]; под. ред. В. И. Аксенова. М. : Теплотехник, 2008. 256 с.

УДК 666.1.03

Горелов Д. А., Капустин Ф. Л.
Уральский федеральный университет
garlo93@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЗОЛЫ-УНОСА НА СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА

Повышение требований к теплозащите зданий и сооружений (сокращение расхода энергии на отопление зданий, снижение потерь тепла в промышленных агрегатах и теплотрассах, улучшение эксплуатационных свойств теплоизоляционных изделий и др.) требует создания новых и улучшения качества существующих теплоизоляционных материалов. Для решения данной проблемы актуальным становится поиск новых сырьевых источников и создание новых технологий высокоэффективных и экологически безопасных утеплителей.

Как известно, ведущее место среди теплоизоляций благодаря своим теплозащитным свойствам, пожаробезопасности и долговечности занимает пеностекло. В то же время существует ряд нерешенных вопросов, препятствующих широкому внедрению пеностекла в строительство и связанных с его себестоимостью, отсутствием промышленно организованной сырьевой базы и сложностью технологии. Одним из возможных источников сырья для производства пеностекла могут быть золошлаковые отходы ТЭС, которые складываются в отвалах и загрязняют окружающую среду.

На территории России около 70 % всей электроэнергии вырабатывается при сжигании твердого топлива, в результате чего образуется около 40 млн т в год золы и шлака. В связи с этим вопросы утилизации золошлаковых отходов при получении высокоэффективных теплоизоляционных материалов являются актуальными и входят в число приоритетных природоохранных мероприятий.

Цель работы – исследование возможности использования золы-уноса Рефтинской ГРЭС в технологии получения гранулированного пеностекла.

Экспериментальным путем в лабораторных условиях установлены температурные режимы синтеза гранулированного пеностекла обжигом в муфельной печи шихты на основе диатомита с добавкой щелочи. Брикеты из шихты выдерживали в печи при разной температуре (900-1000 °С) и продолжительности об-

жигу 5–10 минут. Химический состав использованных сырьевых материалов приводится в таблице.

Химический состав сырья, мас. %

Материалы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	m _{прк}	Прочее
Диатомит	72,0	8,2	3,9	1,0	13,1	1,8
Зола-уноса	62,2	27,9	5,1	2,2	1,5	1,1

При отработке режимов вспучивания шихты было изучено влияние количества добавки золы-уноса на свойства гранулированного пеностекла: плотность, разрушающая нагрузка на гранулу, коэффициент конструктивного качества. Результаты определения плотности пеностекла в зависимости от температуры вспучивания и количества золы представлены на рис. 1, прочности на сжатие – рис. 2.

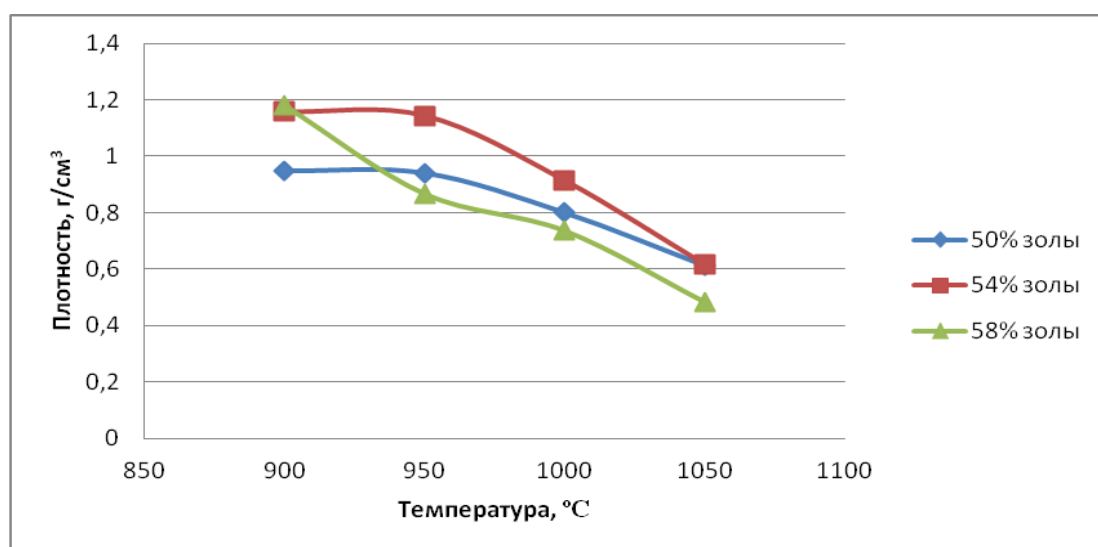


Рис. 1. Влияние температуры обжига и количества ЗУ в шихте на плотность пеностекла

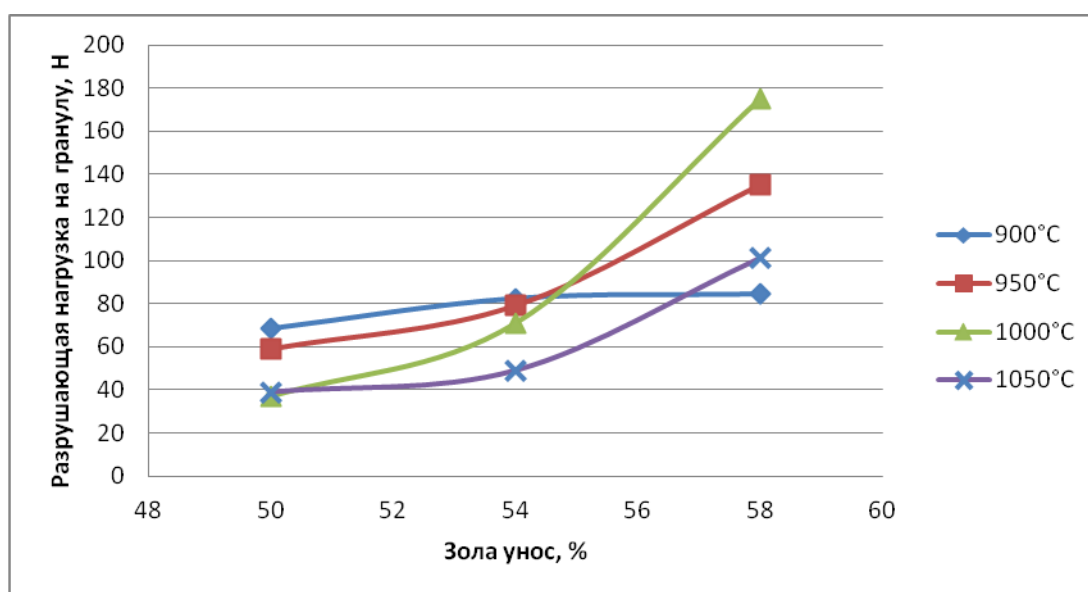


Рис. 2. Влияние температуры обжига и количества ЗУ в шихте на разрушающую нагрузку пеностеклянных гранул

Установлено, что увеличение температуры обжига золодиатомитовой шихты от 900 до 1050 °С и повышение количества в шихте золы-уноса от 50 до 58 % снижает плотность пеностекла до 480 кг/м³. Однако повышение температуры обжига при равном содержании золы-уноса снижает прочность на сжатие образцов и только при температуре 1000 °С и количестве золы 58 % полученное пеностекло имеет максимальную прочность 175 Н/гранулы и высокий коэффициент конструктивного качества утеплителя.

Использование золы-уноса в технологии получения гранулированного пеностекла позволит добиться ресурсосберегающего и экологического эффекта.

УДК 666.1.03

Гулиев Р. И.
Альметьевский государственный нефтяной институт
teplotexAGNI@yandex.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ПЕНОСТЕКОЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В России существует острый дефицит в современных эффективных, экологических и безопасных теплоизоляционных материалах, обладающих долговечностью в 100 и более лет.

Основная роль теплоизоляционного материала, применяемого в зданиях, сооружениях, трубопроводах и на технологическом оборудовании – это обеспечение низкого уровня потерь тепловой энергии. Одним из признанных специалистами типов теплоизоляции, обладающим уникальным комплексом свойств, сочетающим в себе эффективность, долговечность, экологическую и пожарную безопасность, является пеностекло.

Один из ключевых вопросов строительства энергосберегающего дома нового поколения – применение теплоизоляционных материалов (ТИМ). О том, что утепление необходимо во избежание промерзания углов и стен здания в зимний период, знают все, кому довелось когда-либо, хотя бы краткосрочно, проживать в угловых квартирах стандартных пятиэтажных домов.

В настоящее время вопросы теплоизоляции вышли на новый качественный уровень. На отечественном рынке появились новые, ранее неизвестные виды ТИМ, которые по виду исходного сырья можно укрупненно разделить на два вида:

1) органические: вспененный полиэтилен, беспрессовый и экструзионный пенополистирол, пенополиуретан и изделия на их основе;

2) неорганические: волокнистые материалы на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты, вспученного перлита, вермикулита, вспененного каучука. При соединении первого и второго получают смешанные ТИМ.

Все они в целом справляются с задачей теплоизоляции зданий, но при этом имеют ряд очевидных и подчас весьма опасных недостатков. Так, пред-

ставленные на рынке органические ТИМ обладают горючестью, низким температурным интервалом применения, недолговечностью, высоким дымообразованием при горении, способностью к выделению токсичных веществ, отсутствием возможности утилизации и переработки. Неорганические и смешанные ТИМ отличаются слабой водостойкостью и морозостойкостью, а также недолговечностью. Кроме того, различным видам ТИМ присвоены разные категории опасности для здоровья человека.

По большому счету, рынок ограничен горючими и небезопасными пенопластами и недолговечными, подверженными воздействию влаги волокнистыми материалами. Но самое главное, нормативный срок службы и тех и других составляет в среднем 15–20 лет, что значительно ниже срока эксплуатации зданий и сооружений.

На общем фоне уникальными и универсальными свойствами обладает гранулированный пеностекольный материал – пенокварц, представляющий собой модифицированное пеностекло на основе местного сырья, отходов стеклобоя и наномодификатора. Пеностекло было изобретено в 1930-х годах советским академиком И. И. Китайгородским. Благодаря уникальным свойствам пеностекла: негорючести, биоинертности, неограниченному сроку эксплуатации и др. – на него в первую очередь обратила военно-промышленная отрасль, в СССР пеностекло широко использовалось в военно-морском флоте.

В настоящее время пеностекло активно завоевывает свою нишу на гражданском рынке ТИМ. В качестве главного недостатка пеностекла указывает его стоимость и зависимость производства от поставок стеклобоя. Однако модификация состава пеностекла с заменой кварцосодержащим сырьем, в том числе шлаковыми и золошлаковыми материалами, и добавка наномодификатора позволяют существенно снизить стоимость пенокварца как за счет снижения затрат на материалы, так и за счет уменьшения энергозатрат на его производство.

Разработанная технология получения пенокварца, получаемого из смеси стеклобоя, шлака, порообразователя наномодификатора, вспененных при температуре 800–900 °С универсальна по виду исходного сырья и предполагает возможность применения при производстве пеностекла большого спектра местных природных и техногенных материалов. В зависимости от конструктивных требований и условий, предъявляемых потребителями к пенокварцу, возможно производить различные виды строительных материалов, отличающиеся по форме: теплоизоляционные плиты, конструкционно-теплоизоляционные блоки, пористый заполнитель для легких бетонов и теплоизоляционных засыпок (гранулы, щебень), – а также по техническим характеристикам (плотности, пределу прочности, коэффициенту теплопроводности).

Область применения пенокварца весьма обширна: звукоизоляция наружных стен зданий, чердаков, фундаментов, полов, кровель, грунтов и бассейнов; ограждающие конструкции в зонах с повышенной пожарной опасностью; теплоизоляция трубопроводов, газопроводов и инженерных коммуникаций; кладка наружных, внутренних стен и перегородок зданий; дорожное строительство;

производство стеновых панелей для каркасного промышленного и гражданского строительства.

В отличие от большинства теплоизоляционных материалов пеностекло может применяться для изоляции трубопроводов и технологического оборудования, работающих при повышенных температурах. Пеностекло не меняет своих характеристик при температурах от минус 200 до +500 °С. Наиболее важным свойством промышленной теплоизоляции является устойчивость к воздействию влаги. Влага может не только конденсироваться на поверхности теплоизоляции при температурных перепадах, но и попасть на изоляцию в случае аварии.

После воздействия влаги пеностекло, имеющее в своей основе замкнутые поры, сохраняет свои свойства, в отличие от волокнистых теплоизоляционных материалов. Теплоизоляция из гранулированного пеностекла легко монтируется и демонтируется, является безусадочной, подходит для многократного использования. В энергетике объектами тепловой изоляции являются паровые котлы, паровые и газовые турбины, теплообменники, баки-аккумуляторы горячей воды, дымовые трубы.

В промышленности изоляции подлежат вертикальные и горизонтальные технологические аппараты, насосы, теплообменники, резервуары для хранения воды, нефти и нефтепродуктов. Особенно жесткие требования предъявляются к эффективности тепловой изоляции низкотемпературного и криогенного оборудования. Тепловая изоляция обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные условия труда на производстве, снижает потери легкоиспаряющихся нефтепродуктов в резервуарах, дает возможность хранить сжиженные и природные газы в изотермических хранилищах.

Применение пеностекла на стратегических и особо важных объектах (ВПК, атомной промышленности и т. п.), лишний раз доказывает его уникальность, надежность и универсальность.

Строительные работы и весь строительный процесс происходят довольно быстро, так как достаточно всего лишь высыпать щебень и разровнять его по поверхности. Еще использование пеностекольного щебня применяется в изготовлении легких бетонов, тем самым повышает их тепло- и звукоизоляционные свойства. В целом, материал данного уровня еще и экономичен, так как с его применением объемы расходных материалов уменьшаются, тем самым снижается себестоимость работ. После демонтажа пеностекло может использоваться повторно. Кроме того, легкость, долговечность и стойкость пеностекольного щебня к агрессивным внешним воздействиям позволяют снизить расходы на его хранение и транспортировку.

Вопрос транспортировки материала данного уровня вполне решаем, тем более что пеностекло довольно легкий материал и его легко транспортировать. Но, несмотря на небольшой вес, материал имеет высокое давление и поэтому обладает высокой прочностью. Даже вес дорожного катка не способен повредить целостность щебня данного уровня.

В настоящее время основными конкурентами пеностеклянного щебня на рынке строительных материалов являются традиционные пенополиуретан, пенополистирол, минеральная вата (в первую очередь, стекловата) и керамзит. По сравнению с ними, пеностеклянный щебень обладает рядом важных преимуществ – универсальностью применения, экологичностью (исходное сырье – стеклобой, обычное битое стекло) и долговечностью.

УДК 66.045.3

Захарова А. А., Бирюзова Е. А.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
a.zhukova@unispb.ru, biryuzova@rambler.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ

Правильно подобранная и установленная должным образом теплоизоляция для труб оказывает прямое влияние на срок их дальнейшей эксплуатации. Качественный монтаж теплоизоляции на трубы значительно снижает износ коммуникаций, сводит к минимуму риск замерзания жидкости в трубе даже в самые сильные морозы. Хорошая теплоизоляция труб помогает снизить частоту замен вышедших из строя участков трубопроводов и соединений. При выборе теплоизоляции для труб важно учитывать все физико-технические свойства материалов, представленных на рынке. Большое значение имеет не только теплопроводность, но и плотность, водопоглощение, пожаробезопасность, возможность эксплуатации при резких колебаниях температуры и в агрессивных средах. Далеко не последнюю роль играет такой показатель, как стоимость теплоизоляции для труб.

Выбор в пользу теплоизоляции для труб в виде рулонных мягких утеплителей (маты) или жестких изделий (полуцилиндры и цилиндры) (рис. 1) зависит от диаметра труб, подвергаемых изоляции. Формованные изделия, обеспечивая достаточно высокое термосопротивление, обладая



Рис. 1. Рулоны и маты теплоизоляционные

хорошей механической прочностью и низким водопоглощением, больше подходят для теплоизоляции труб небольшого диаметра. Кроме того, цилиндры и полуцилиндры, отличающиеся точными геометрическими параметрами, снабжаются специальными «замками», что значительно увеличивает скорость и удобство монтажа теплоизоляции. В наши дни для теплоизоляции трубопроводов широко используются такие материалы, как минеральная вата, стекловолокно, пенополиуретан и другие вспененные утеплители.

Минераловатные изделия для теплоизоляции труб, при изготовлении которых в качестве сырья использовались базальтовые горные породы и синтетическое связующее, являются высокоэффективными теплоизоляторами, пригодными для службы в самых разных условиях. Минеральная вата не теряет своих механических и теплоизолирующих свойств при температуре до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Изделия из этого материала нетоксичны, биостойки и негорючи. Они отличаются минимальным влагопоглощением. Использование минеральной ваты наиболее подходит для тепловых коммуникаций канальной прокладки.

Этот теплоизолятор пригоден для использования на чердаках, а также в подвальных помещениях жилых зданий. Материал отлично подходит для изоляции труб с высокой температурой поверхности. Например, для трубопроводов, которые транспортируют горячий пар.



Рис. 2. Цилиндры минераловатные

Для теплоизоляции труб больших диаметров (свыше 273 мм) рекомендуется применять гидрофобизированные маты, сделанные из минеральной ваты. Если диаметр трубопровода лежит в диапазоне от 18 до 273 мм, то для его теплоизоляции лучше использовать минераловатные изделия, выполненные в виде полуцилиндров, сегментов либо цилиндров (рис. 2).

В состав стекловаты входят волокна, напоминающие по своим свойствам волокна минеральной (каменной) ваты. Одно из отличий заключается в геометрических параметрах волокон. Минеральная вата состоит из волокон, имеющих длину от 30 до 40 мм и толщину порядка 5 мкм, а в случае со стекловолокном эти показатели оказываются в несколько (2–4) раз больше. К достоинствам стекловаты относятся: большой срок службы, высокая стойкость к воздействию вибрации, химическая и биологическая стойкость. Изделия из стекловолокна обычно используются при теплоизоляции труб, которые прокладываются над землей. Сюда относятся и тепловые коммуникации. Материал редко используют для теплоизоляции в промышленности (если сравнивать с минеральной ватой), из-за меньшей рабочей температуры, которую может выдерживать стекловолокно.

Пенополиуретановые (ППУ) изделия с покрытием, которое может быть выполнено из рубероида либо фольгоизола, с успехом используются для теплоизоляции труб, имеющих разное предназначение, но материал имеет много недостатков: горючесть, относительно высокая стоимость, плохая стойкость к ряду растворителей и воздействию прямых солнечных лучей, невозможность использования для утепления труб с поверхностью, имеющей температуру больше $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вспененные теплоизоляционные материалы характеризуются обширной номенклатурой. На сегодняшний день широко используются теплоизоляция для труб на основе вспененного полиэтилена (Энергофлекс, Термафлекс и т.п.) и теплоизоляция для труб на основе вспененного каучука (*Armaflex*, *Kaiflex*, *K-flex* и т. п.) (рис. 3). Они представлены всевозможными полимерами (пенополиэтилен, вспененный каучук и др.).



Рис. 3. Вспененный полиэтилен

Синтетический каучук с закрытыми порами является неплохим решением для теплоизоляции трубопроводов, которые подвергаются низкотемпературному воздействию, и систем холодного водоснабжения. При этом изоляция стоит дешевле, чем минераловатные изделия, но и служат меньше.

Довольно высокие прочностные показатели присущи пеностеклу. Это негорючий изолятор, который возможно использовать в широком температурном диапазоне (от -200 до $+485$ °C). Применяется для теплоизоляции подземных и надземных трубопроводов. В России вспененное стекло выпускается в виде формованных изделий (сегменты и скорлупы).

В заключение стоит добавить, что использование качественной теплоизоляции для труб является одной из важных составляющих, обеспечивающих бесперебойную работу коммуникаций.

УДК 662.741

Зорин М. В., Косоголов С. А.
Уральский федеральный университет, ОАО «ВУХИН»,
ukovuhin@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДК В УГОЛЬНОЙ ШИХТЕ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ

Коксохимическая промышленность, являясь одним из основных поставщиков сырья для доменного процесса, производит кокс, который выполняет роль источника тепла, а также восстановителя и разрыхлителя столба шихты (каркаса) в доменной печи.

Современное доменное производство предъявляет высокие требования к качеству кокса по механической прочности и реакционной способности. С со-

вершенствованием доменного процесса и внедрением технологии пылеугольного вдувания в доменные печи требования к качеству кокса по показателю CSR характеризуются значением более 60,0 %, а по показателю CRI – менее 30,0 %. На сегодня показатели качества кокса на российских заводах значительно ниже и в среднем составляют по M25 85,7 %, по M10 – 8,7 %, по CSR – 50,0 % и по CRI – 35,0 %. В связи с этим проблема улучшения качества кокса на заводах РФ является весьма актуальной.

Мировой и российский опыт показывают, что угольная сырьевая база коксования является определяющей при формировании требуемого уровня прочности и реакционной способности кокса, а, следовательно, во многом определяет и эффективность работы доменных печей. Оптимальный состав шихты для коксования, обеспечивающий получение высококачественного доменного кокса, формируется из трех составляющих: спекающей основы (ГЖ – 18 %, Ж – 30 %), коксовой группы (К – 16 %, КО – 4 %, ОС – 17 %) и отошающей присадки (КС – 15 %), которые суммарно должны обеспечить следующие технологические параметры качества шихты: $V^{\text{daf}} = 26,5\text{--}29,0 \%$; $Y = 14,5\text{--}20,0 \text{ мм}$; $R_{o,n} = 1,125\text{--}1,250 \%$; $V_t = 65\text{--}90 \%$; $SI = 6\text{--}8 \%$.

Всесторонний анализ эксплуатации коксовых печей и доменного процесса свидетельствует, что показатель CRI на 80 %, а CSR на 70 % зависят от свойств угля и угольных смесей. Таким образом, подбор оптимальных угольных смесей представляется приоритетным для производства кокса лучшего качества. При этом условия коксования, такие как насыпная плотность шихты, термическая подготовка шихты, период коксования, лишь минимизируют некоторый дефицит требуемых свойств углей. В связи с этим любой квалифицированный производитель кокса для доменных печей должен уделять особое внимание угольной сырьевой базе коксования.

Наряду с дефицитом углей ценных марок Ж, К, КО, ОС наметился и дефицит углей марки КС, как отошающей основы шихты, с показателями $R_{o,r} \geq 1,30 \%$, $V_t \geq 50,0 \%$ и $y = 7\text{--}9 \text{ мм}$. Вместо этих углей используются угли марки КС с низкими значениями показателя отражения витринита ($R_{o,r} = 1,10\text{--}1,25 \%$) и еще менее метаморфизованные угли марки КСН. В структуре отошающей основы шихты доля последних составляет более 60 %. Эти низкометаморфизованные угли марок КС и КСН, содержащие всего 33–45 % витринита, не выполняют отведенную им роль отошающего компонента в шихтах при коксовании.

Более того, и в спекающей основе шихты значительная часть наиболее ценных в технологическом отношении углей марки Ж отличаются низкой степенью метаморфизма ($R_{o,r} < 0,90 \%$), что не позволяет получать кокс из шихт с их участием высокого качества по показателям CSR и CRI.

Менее метаморфизованные жирные угли ($R_{o,r} < 0,90 \%$) образуют при пиролизе в большем количестве мелко мозаичные структуры. Доля же средних, и особенно крупных мозаичных структур, включая структуры текучего типа, невелика – отсюда и более худшие значения показателей CSR и CRI кокса.

Также дефицит углей марки Ж компенсируется углями марки ГЖ с еще более неблагоприятными показателями качества, и проблема качества спекающей основы шихты выглядит еще более острой с точки зрения получения кокса высокого качества.

Таким образом, на сегодня все три составляющие шихты для коксования российских производителей кокса: спекающая (Ж, ГЖ), коксующая (К, КО, ОС), отошающая (КС, КСН) еще отличаются низким качеством с преобладанием в каждой из них менее метаморфизованных углей, а в углях марок КО, КС и КСН еще и углей с низким содержанием витринита.

В соответствии с вышеизложенным анализом по отошающей, спекающей и коксующей основам шихт ликвидировать сложившийся дефицит в коксохимической промышленности возможно за счет квалифицированного ввода в шихты для коксования коксующих добавок нефтяного происхождения с определенными свойствами. При этом одновременно решаются проблемы нефтеперерабатывающей промышленности.

Одной из главных проблем нефтеперерабатывающей отрасли РФ является недостаточная глубина переработки нефти, что приводит к увеличению объемов производства тяжелых нефтяных остатков (ТНО), которые используются при выпуске мазутов (в том числе котельного, печного, бункерного топлива).

Эффективным способом увеличения глубины переработки нефти является процесс замедленного коксования ТНО, в результате которого получают дополнительные объемы дистиллятов, газов, а также нефтяной кокс, используемый для производства анодной массы и электродной продукции.

Как показывает мировой и отечественный опыт, для ряда коксохимических заводов, имеющих хорошую спекаемость и усадку шихты, представляется возможным ввод нефтяного кокса с выходом летучих веществ 10–12 % до 3 %.

Замедленное коксование продуктов, полученных из высокосернистых нефтей, наталкивается на трудности реализации нефтяного кокса, связанные с ограничениями по сернистости в алюминиевой и электродной промышленности, что является основным сдерживающим фактором по расширению использования технологии замедленного коксования в РФ.

Необходимость решения вопроса увеличения глубины переработки нефти сделала актуальной разработку новых технологий замедленного коксования ТНО и модернизацию установок замедленного коксования (УЗК) для расширения направлений использования продуктов замедленного коксования.

Одно из таких направлений – это кардинальное изменение технологии замедленного коксования и конструкции установки, с целью придания продукции УЗК новых свойств, в частности, свойств спекаемости и коксуемости, позволяющих применять ее в качестве добавки к угольной шихте для замены ценных коксующих углей в процессе производства металлургического кокса. В результате научно-исследовательских работ были предложены соответствующие решения, позволившие не только значительно повысить производительность УЗК при производстве нефтяного кокса, но и увеличить глубину переработки

нефти, а также обеспечить возможность производства инновационного продукта – Добавки Коксующей (ДК).

Острый дефицит наблюдается углей коксовой основы, компенсировать который возможно с привлечением ДК с выходом летучих веществ 16–20 %. Участие ДК в угольных шихтах КХП РФ, производящих кокс для доменных печей, составляет 5–10 % ввиду высокого содержания серы в ДК. Для кокса, используемого в цветной металлургии, такого ограничения нет, поэтому доля ДК в шихте не ограничена.

Результаты промышленных испытаний шихт и коксов с участием ДК в доменном производстве (табл. 1) и цветной металлургии (табл. 2) подтверждают положительное влияние присутствия ДК в шихте не только на качественные характеристики кокса, но и на доменный процесс в целом.

Таблица 1

Результаты использования кокса с ДК в доменном производстве

Шихта для коксования, %		Показатели качества кокса, %						Эффект в доменном производстве
Угольная шихта	ДК	A ^d	S ^d _t	M25, M40	M10	CSR	CRI	
100	–	12,6	0,44	85,4	8,7	53,6	28,0	–
95	5	12,3	0,62	85,5	8,3	58,1	25,0	Отмечен рост газопроницаемости и улучшение работы доменных печей
100	–	12,1	0,58	73,4	8,8	48,0	34,8	–
95	5	11,5	0,68	73,4	8,5	50,5	34,6	Снижение расхода кокса до 10 кг/т чугуна
90	10	11,3	0,83	73,6	8,3	54,2	33,1	Снижение расхода кокса до 20 кг/т чугуна

Таблица 2

Результаты использования кокса с ДК в цветной металлургии

Наименование	ДК, %	Показатели качества кокса, %					
		A ^d	S ^d _t	M25	M10	CSR	CRI
Шихта производственная	0	12,6	0,58	87,6	9,5	44,3	36,7
Шихта экспериментальная № 1	30	10,4	1,57	85,4	10,2	45,8	33,8
Шихта экспериментальная № 2	40	8,7	2,05	87,0	10,2	48,0	33,4

Промышленное использование ДК в шихте для коксования оказалось эффективным и получило широкое применение в производстве кокса. В настоящее время ДК поставляется на 7 из 11 КХП РФ в количестве ~840 тыс. т в год.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Для работы энергетического оборудования ТЭЦ необходимы значительные объёмы охлаждающей и технологической воды. Основными источниками воды в теплоэнергетике являются поверхностные водные объекты (реки, озера, естественные и искусственные водохранилища) – более 92 %, подземные воды – не более 4%, городской водопровод – до 3,3 % и др. Исходная вода используется на ТЭЦ не только для охлаждения, но также и для приготовления добавочной воды, восполняющей потери теплоносителя как в пароконденсатном тракте, так и в системе теплоснабжения.

Одним из возможных методов сокращения использования природной воды является использование очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод. Департаментом металлургии и департаментом по проектированию объектов гражданского назначения ОАО «Уралгипромез» при участии авторов был разработан проект очистных сооружений биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод жилого района Академический в г. Екатеринбурге. Очистные сооружения предназначены для обеспечения очистки сточных вод по показателям качества воды, пригодной для сброса в водные объекты (р. Патрушиха), и при дополнительной очистке для технического водоснабжения ТЭЦ «Академическая». Требования к воде ТЭЦ сведены в таблицу. Кроме того, в воде теплоэнергетического объекта не должны содержаться возбудители кишечных инфекций, яйца гельминтов, цисты патогенных кишечных простейших.

Значение показателей исходной и очищенной воды района Академический

Показатели состава сточных вод	Размерность	Параметры очищенных стоков	Необходимое качество воды для ТЭЦ «Академическая»
рН		7	8
БПК	мгО ₂ /л	3,0	3,0
ХПК	мгО ₂ /л	30,0	30,0
Взвешенные вещества	мг/л	3,0	3,0
Нефтепродукты	мг/л	0,05	0,05
Сухой остаток Минерализация	мг/л	Не более 600	600
Температура	(°C)	18–25	Летняя температура воды не должна превышать среднемесячную температуру самого жаркого месяца более чем на 3 °C

Как видно из таблицы, качество очищенной воды удовлетворяет требованиям объекта по всем показателям [1, 2]. В основу технологической схемы очистки сточных вод положен принцип последовательной обработки с улучшением качества воды на каждом из этапов. С этой целью сточные воды подвергаются следующим видам обработки:

- механическая очистка;
- биологическая очистка, в соответствии с технологией MBR, включающая биологическое окисление сточных вод с последующей фильтрацией на ультрафильтрационных мембранах;
- ультрафиолетовое обеззараживание воды;
- обезвоживание избыточного ила.

Мембранный биореактор технологии MBR представляет собой бассейн с установленными в него погружными мембранными блоками. Всего для очистки 15000 м³/сутки сточных вод предусмотрена установка 12 мембранных биореакторов. В каждом мембранном биореакторе установлено 12 мембранных блоков фирмы *Membray Toray* (Япония). Площадь мембраны – 200 м², материал мембран – ПВДФ (Поливинилиденфторид), максимальная концентрация ила – 18 г/л.

При обработке сточных вод по технологии мембранных биореакторов достигается [3]:

- фильтрация сточных вод с удалением из очищенной воды (пермеате) взвешенных частиц;
- стабильность качества очищенных сточных вод по показателям БПК, ХПК и взвешенным веществам;
- сокращение производственных площадей за счет возможности содержания ила в бассейнах с более высокой концентрацией и за счет исключения вторичных отстойников или увеличения продолжительности процесса биологического окисления органических загрязнений и уменьшения объемов обрабатываемых осадков.

В мировой практике MBR – технология новая. А в России известны единичные случаи ее использования. С 2016 года в летний период предполагается осуществлять подачу очищенной воды от жилого района Академический на ТЭЦ «Академическая» в количестве 7000 м³/сут. Удачный опыт эксплуатации данного объекта будет использован на других объектах теплоэнергетики России.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Введ. 01.01.01. М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 11 с.
2. Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий : МУ 2.1.5.1183-03 : метод. указания : утв. 11.01.01 : дата введ. 01.03.03 / Минздрав России. - М., 2003. - 20 с.
3. Киристаев А. В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе; дис... канд. техн. наук: 05.23.04. М., 2008. 135 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОКСИДА ХРОМА (III)

Хромовые соединения широко используются в самых различных отраслях народного хозяйства. Они применяются в металлургии, машиностроении, приборостроении, в текстильной, кожевенной, огнеупорной, лакокрасочной промышленности, в производствах мехов, оптики, часов, в быту.

В производстве оксида хрома (III) на производстве ЗАО «РУССКИЙ ХРОМ 1915» имеется стадия фильтрования суспензий гидрата оксида хрома с помощью барабанных вакуум-фильтров.

Барабанный вакуум-фильтр – технологически устаревшее оборудование для обезвоживания осадка, образующегося в процессе очистки сточных вод гальванического производства, которое применялось на очистных сооружениях машиностроительных предприятий в 70–80 гг. прошлого века. Вакуум-фильтры и сейчас предлагаются некоторыми фирмами, поставляющими оборудование для очистки стоков, с расчетом на недостаточную квалификацию сотрудников предприятий РФ.

К недостаткам барабанных фильтров относят:

- 1) громоздкость конструкции;
- 2) сложность замены фильтровальной ткани при ее прорыве и устранения ее дефектов;
- 3) кроме того, силы, обусловленные разрежением, и силы тяжести, действующие на осадок, направлены в противоположные стороны, невозможность наблюдения за осадком и состоянием крепления фильтровальной ткани.

Барабанные вакуум-фильтры применяют в основном для фильтрования грубых, зернистых и быстроосаждающихся суспензий.

Для фильтрования суспензий гидрата оксида хрома в соответствии с приведенными выше недостатками барабанного вакуум-фильтра больше подходит ленточный фильтр. К преимуществам ленточных вакуум-фильтров относят:

- 1) простоту устройства и обслуживания;
- 2) совпадение направлений силы тяжести и движения частиц под действием разрежения; возможность регенерации фильтроткани.

К недостаткам:

- 1) большие размеры (необходима значительная площадь для установки фильтра);
- 2) относительно малую поверхность фильтрования;
- 3) неполное использование фильтровальной ткани и сложность ее замены.

Для модернизации цеха по производству оксида хрома предлагается замена барабанных вакуум-фильтров на ленточные. Эта замена дает ряд преимуществ:

- 1) сокращение потерь полупродуктов;
- 2) снижение количества оборудования;
- 3) снижение энергетических затрат за счет установки нового более экономичного оборудования;
- 4) сокращение времени производственных операций;
- 5) снижение доли ручного труда. Уменьшение численности на 2 единицы аппаратчиков в смену;
- 6) обеспечение стабильного качества продукта.

В соответствии с проведенными технологическими расчетами выбран ленточный вакуум-фильтр ЛОН-12, который имеет:

- высокую производительность;
- оптимальный технологический режим;
- возможность регулирования толщины осадка и скорости движения фильтровальной ткани;
- надежность и простота обслуживания.

Годовая экономия от предлагаемой модернизации составит 4513,1 тыс. руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 4,1 года.

УДК 621.318.13

Климарев В. А., Иванов Е. М., Деулин В. А., Прахт В. А.
Уральский федеральный университет,
klimarev-va@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Магнитомягкие материалы используются в качестве сердечников трансформаторов, электромагнитов, в измерительных приборах и электрических машинах, где необходимо при наименьшей затрате энергии достигнуть наибольшей индукции. Такие материалы обладают высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями на гистерезис.

Для оптимального проектирования электрических машин необходимо иметь достаточно точную информацию о свойствах предполагаемых к использованию материалов.

Свойства электротехнической стали и других магнитомягких материалов регламентируют соответствующие ГОСТы и стандарты предприятий, они содержатся в электротехнических справочниках, однако полагаться только на эту информацию зачастую недостаточно [1–3].

Известно, что характеристики электротехнических сталей разных производителей отличаются, при этом свойства материала изменяются от партии к партии и даже в самой партии. Обработка стали также вызывает изменение материала, зачастую приводит к ухудшению его характеристик [4]. Особые сложности вызывает отсутствие актуальной информации о свойствах материалов при работе на высоких частотах, в частности, в высокоскоростных электродви-

гателях и генераторах. Эти и другие факторы вынуждают рассчитывать конструкции с учетом больших запасов.

Электротехническая сталь играет доминирующую роль в производстве электрических машин и компонентов [5] – порядка 95 %, однако появляются современные композиционные магнитомягкие материалы (КММ), которые в определенных приложениях могут также успешно применяться. Крупнейшими мировыми производителями таких материалов являются *Höganäs* (Швеция), *GKN Sinter Metals*, *SG Magnets Ltd* (Великобритания), *Quebec Metal Powders Ltd* (Канада).

КММ позволяют получать сложную объемную геометрию магнитопроводов, что позволяет более оптимально использовать объем активных частей. Особенно актуально применение КММ при производстве в больших сериях, поскольку производство является безотходным, так как нет потери на обрезь, как при листовой электротехнической стали. Также можно проектировать простые разборные конструкции, которые позволят существенно автоматизировать производство и сборку. Для использования новых КММ также следует изучить их электрические и магнитные свойства.

Таким образом, вопросы измерения свойств магнитомягких материалов не только не теряют актуальности, но и являются важным элементом НИОКР в области электромеханики.

Для проведения исследований магнитомягких материалов был спроектирован и изготовлен испытательный стенд. Стенд состоит из управляемого с ПК генератора сигналов произвольной формы, полупроводниковой схемы усилителя, набора измерительных датчиков и АЦП для записи полученных результатов на ПК.

Измерительная схема представлена на рис. 1. В такой схеме для измерения используется кольцообразный образец из исследуемого материала. Кольцообразный образец имеет две обмотки: первичную – силовую (с числом витков N_1) и вторичную – измерительную (с числом витков N_2).

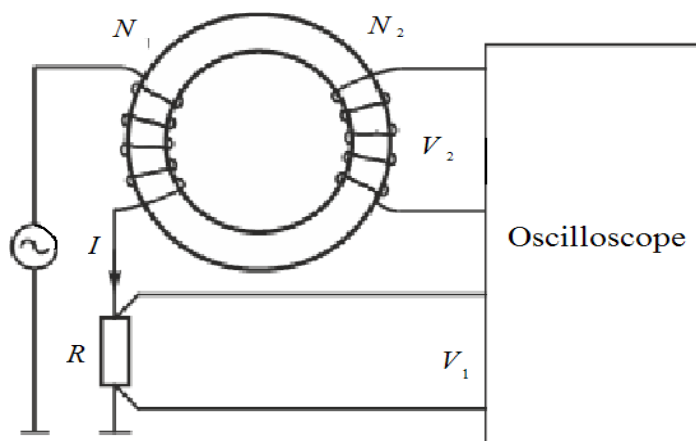


Рис. 1. Измерительная схема

На первичную обмотку подается напряжение, требуемое для исследования формы и частоты. С помощью датчиков тока записываются ток в первичной обмотке и напряжение на вторичной разомкнутой обмотке. Вторичная обмотка прилегает непосредственно к магнитопроводу (кольцообразному образцу), а первичная обмотка расположена над вторичной.

Создан программный комплекс в среде MatLAB 8.0, который позволяет автоматизировать процесс измерения и обработки полученных данных.

Ниже, для примера, представлены (рис. 2–4) экспериментально полученные характеристики образца электротехнической стали 2412 на частоте 50 Гц при питании синусоидальным напряжением.

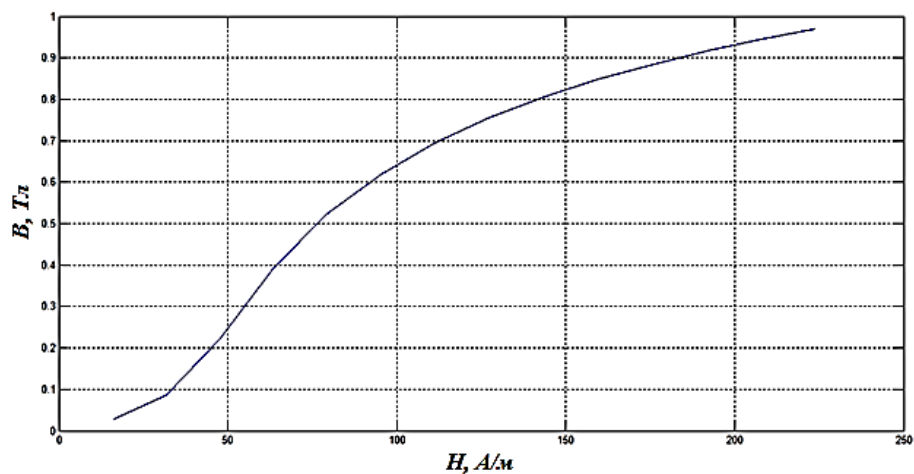


Рис. 2. Экспериментальная кривая намагничивания образца стали 2412

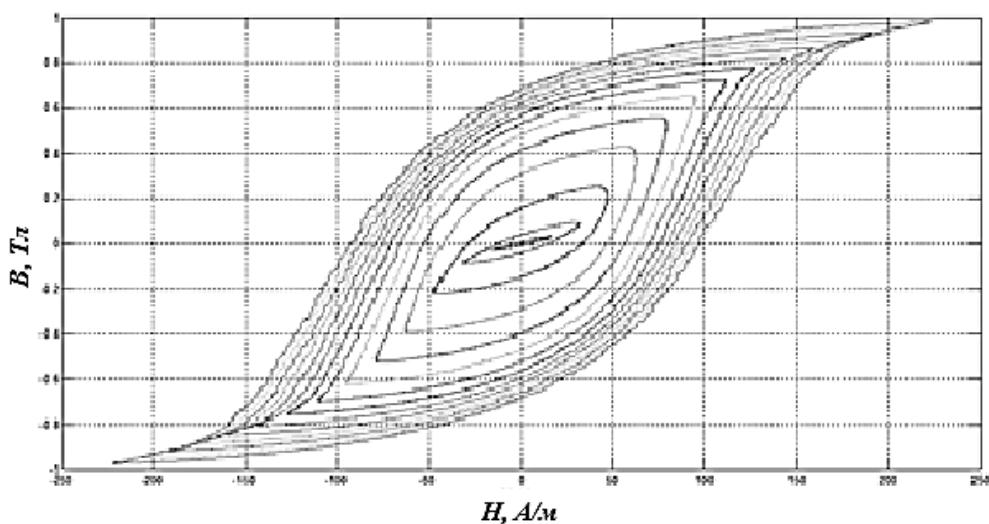


Рис. 3. Экспериментальные кривые гистерезиса образца стали 2412

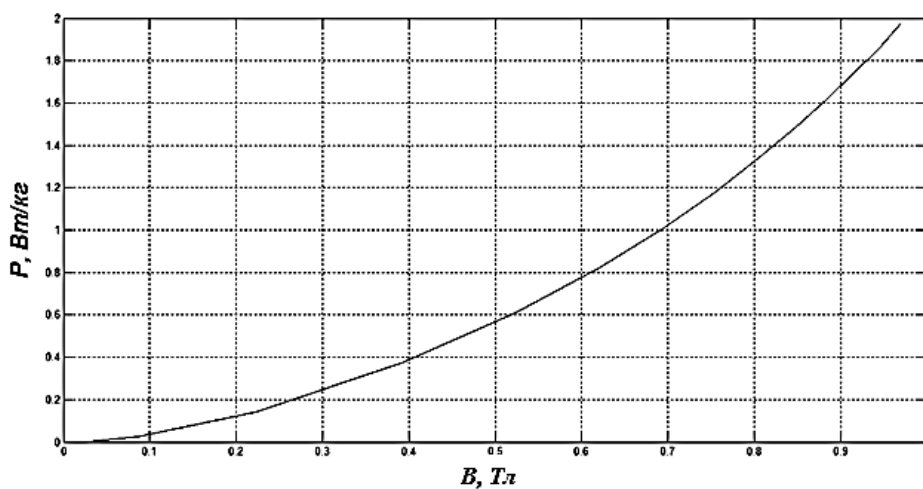


Рис. 4. Экспериментальная зависимость удельных потерь от магнитной индукции на частоте 50 Гц для образца стали 2412

По полученным данным можно сделать вывод, что экспериментальная кривая намагничивания соответствует справочным данным, а удельные потери в исследуемом образце выше установленных ГОСТом величин, что свидетельствует о возможном браке материала или о нарушении межлистовой изоляции.

Список литературы

1. ГОСТ 21427.2-83. Сталь электротехническая холоднокатаная изотропная тонколистовая. Технические условия; введ. 1984-01-01. М. : Изд-во стандартов, 1992. 17 с.
2. ГОСТ 21427.1-83. Сталь электротехническая холоднокатаная анизотропная тонколистовая. Технические условия; введ. 1984-01-01, М. : Изд-во стандартов, 1992. 14 с.
3. International Standards Applied to Magnetic Alloys and Steels, Hugh J. Stanbury // IEEE Transactions on Magnetics. February 2010. Vol. 46. No. 2.
4. Казаджан Л. Б. Магнитные свойства электротехнических сталей и сплавов / М. : Наука и технологии, 2000. 224 с.
5. Stahl-Informationen-Zentrum, “Electrical steel sheet and strip”, Publication 401-E, 2008.
6. Andersson O., Hofecker P. Advances in Soft Magnetic Composites – Materials and Applications. PowderMet2009, 2009.
7. Дружинин В. В. Магнитные свойства электротехнической стали / М. : Энергия, 1974. 240 с.

УДК 621.746

Козловских Е. Ю.¹, Доронин А. В.², Богомолова А. Л.¹, Земляной К. Г.¹
Уральский федеральный университет¹, ООО «Промышленная инновация»²,
evgen210891@mail.ru

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ С МОКРОЙ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОСПЛАВНЫХ ЗАВОДОВ

За последние годы в Казахстане накоплено порядка 1,6 млрд т твердых бытовых и промышленных отходов. Ежегодно в республике образуется порядка 4–5 млн т твердых бытовых отходов и порядка 700 млн т промышленных отходов, из них токсичных – около 250–300 млн т. Несмотря на ежегодный рост объемов образуемых отходов, утилизируется и повторно используется лишь небольшая их часть – порядка 20 %, а весь остальной объем размещается на полигонах. Поэтому переработка и утилизация шлаков и отходов различных производств является актуальным и обязательным элементом безотходной технологии, так как способствует ресурсосбережению, а также снижению загрязнений окружающей среды.

Например, Актюбинский завод ферросплавов (АЗФ) перерабатывает шлаковые отходы, которые ранее лежали горами, и пыль с содержанием хрома разносилась по степи, либо попадала в Илек. Позже АЗФ стал практиковать опрыскивание этих отвалов специальным средством, обеспечивающим пылеподавление, но проблему накопления отвалов это не решало.

На сегодняшний день только в Актюбинской области остаются более 830 млн т накопленных отходов вскрышных пород Донского ГОКа, 12 млн т

шлаков рафинированного феррохрома АО «АЗФ» и 9 млн т шламов АО «АЗХС». В основном они хранятся на базе самих производств, на нескольких специальных полигонах, некоторые из которых не выдерживают предъявляемых требований. В целом, в промышленных областях существует более тысячи свалок, на которых размещено свыше 4 млн всевозможных отходов.

Особый интерес в плане переработки представляют шлаки и шламы ферросплавного производства, которые содержат значительное количество ценных компонентов, используемых в различных отраслях промышленности, – хром, никель, марганец, кремний и другие.

В данной работе предложен метод гидрометаллургической переработки отходов феррохромового производства сернокислотным выщелачиванием с целью получения хромового концентрата (Cr_2O_3) и раствора сульфата магния (MgSO_4). Этот метод позволяет извлекать из отходов ценные металлургические составляющие с целью их дальнейшей переработки.

Проба для исследования была отобрана в АО «Актюбинский завод ферросплавов». Основной продукцией завода являются ферросилиций, силикомарганец, феррохром углеродистый, ферромарганец углеродистый.

Ферросплавные печи бывают открытыми и закрытыми. В открытых печах газ, выделяющийся в процессе плавки ферросплавов, улавливают с помощью зонта, расположенного над печью. В открытом сечении зонта с помощью дымососа создают разрежение. При этом вместе с газами в зонт всасывается воздух, и происходит сгорание составляющих газа при смешивании их с кислородом воздуха. Образуются большие объемы (до 400 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$) газовоздушной смеси, имеющей температуру до 300 °С.

Экспериментальная часть

Для исследования была использована хромовая пыль уноса от печи 41 Пц-4 АО «Акт3Ф», уловленная мокрой газоочисткой.

Химический состав исходного сырья представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав пыли уноса

Содержание, мас. %									
Влага	Cr_2O_3	K_2O	ZnO	SO_3	CaO	MgO	MnO	FeO	SiO_2
45,7	17,57	0,19	0,29	5,08	0,56	46,84	0,8	14,24	14,02

Исследования проводили методом мокрого (гидрометаллургического) выщелачивания растворами минеральных кислот и гидросульфата аммония. В ходе исследования определяли оптимальные условия выщелачивания – температуру, соотношение Т:Ж и концентрацию реагентов для получения максимальной степени и скорости извлечения. Контроль проводили по изменению массы образцов и химическому составу кеков и растворов.

Результаты первой стадии экспериментов представлены в табл. 2.

Извлеченные продукты выщелачивания

Реагент	Концентрация, %	Т:Ж	Температура, °С	Время, мин	Кислотоупорный остаток, %	Извлечение в раствор Cr
Серная кислота	25	1:13	кипение	120	26,7	есть
Серная кислота	20	1:15	68	60	29,0	нет
Соляная кислота	20	1:10	68	60	25,7	есть
Гидросульфат аммония	11,10	1:25	68	60	20,0	нет
Сульфат аммония*	50	1:15	кипение	60	65,0	нет
Сульфат аммония	42,85	1:12	кипение	60	1,98	нет

* образец предварительно обжигался при 600 °С в течение 2 ч

По наименьшему весу остатка, а также отсутствию извлечения экологически опасного Cr был выбран наиболее перспективный способ выщелачивания – серной кислотой при 68 °С и гидросульфатом аммония при 68 °С.

Для выбранных способов выщелачивания подобрали оптимальные условия выщелачивания (температура, время, Т:Ж, концентрация), обеспечивающие минимальный расход реагентов при минимальной массе оставшегося кислотоупорного остатка.

При выщелачивании серной кислотой при оптимальных условиях получили кислотоупорный кек: концентрат оксида хрома содержащий, мас. %: Cr₂O₃ 47,00; SiO₂ 29,18; Fe₂O₃ 14,96; MgO 5,72.

При выщелачивании гидросульфатом аммония при оптимальных условиях получили кислотоупорный кек: концентрат оксида хрома содержащий, мас. %: Cr₂O₃ 46,55; SiO₂ 15; Fe₂O₃ 17,07; MgO 16,74.

Полученный концентрат пригоден для использования на стекольных заводах как заменитель руды хромовой, так как соответствует, например, стандарту организации ОАО «Алексинский стекольный завод», на огнеупорных заводах для производства хромсодержащих огнеупоров и в производстве феррохрома как заменитель хромового концентрата, так как соответствует ТУ СТ ТОО 40588598-07-2008.

Переработка полученных растворов заключается в осаждении известковым молоком примесей железа и алюминия в виде гидрооксидов и их фильтрацией.

Далее из растворов сернокислотного выщелачивания возможно получение сульфата магния 7-водный марки: технический, ТУ 2141-025-32496445-01. Полученный сульфат магния используется в большом количестве в ОАО «Менделеевский химический завод им. Л. Я. Карпова» и др. предприятиях.

Из растворов, содержащих гидросульфат аммония, возможно получение основного карбоната магния, соответствующего ТУ 2144-027-05761270-2005 «Магний углекислый основной технический», с возможностью последующей переработки в оксид магния для огнеупорной, керамической, резинотехнической, электротехнической отраслей промышленности.

Выводы

1. Исследованы способы гидрометаллургической переработки хромовой пыли ферросплавных заводов и определены из них два самых перспективных: сернокислотный и гидросульфатный гидрометаллургические способы переработки.

2. Определены оптимальные условия для проведения сернокислотного и гидросульфатного выщелачивания.

3. Для сернокислотного способа получены образцы продукции, соответствующие техническим требованиям, предъявляемым в промышленности: руда хромовая и сульфат магния 7-водный марки: технический.

4. Для гидросульфатного способа получены образцы продукции, соответствующие техническим требованиям, предъявляемым в промышленности: концентрат хромовый и магний углекислый основной технический.

УДК 662.76

Коновалов Д. С., Белоусова О. А.
Уральский федеральный университет,
belilaei@mail.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ГАЗИФИКАЦИИ БУРОГО УГЛЯ

Быстрое развитие производственных сил связано с большим расходом топлива и углеводородного сырья, неравномерность и сложность добычи горючих ископаемых сопровождается ростом цен, увеличением транспортных расходов и материальных затрат. В связи с этим технология газификации угля имеет стратегическое значение для России, поскольку наша страна располагает более 20 % мировых запасов угля. Однако до настоящего времени в России пока не создано ни одной промышленной энергетической установки с газификацией угля полного цикла. Переход к технологиям глубокой комплексной переработки угля позволяет решить проблемы экологической безопасности и экономической эффективности угольной энергетики, использования ресурсов бурых углей, не находящих широкого применения в настоящее время.

Рассмотрим процесс газификации с получением так называемого «горячего» генераторного газа, имеющего температуру на выходе из газогенератора $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газогенераторные станции горячего газа имеют следующие преимущества:

– просты по устройству, сооружение их не вызывает больших капиталовложений, так как в них отсутствует оборудование для охлаждения и очистки газа, громоздкое смоляное хозяйство и очистка сточных вод;

– имеют высокий КПД и низкие эксплуатационные расходы (небольшой штат, невысокий расход энергии, малые амортизационные отчисления), позволяют получать дешевый газ;

– отсутствуют вредные, трудно очищаемые сточные воды, являющиеся существенным недостатком станций «холодного» газа.

Расчеты процесса газификации проведены для челябинского бурого угля.
Исходные данные для расчета:

Таблица 1

Элементный анализ угля

Компоненты	C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	S^{daf}
Содержание, %	73,3	5,2	18,8	1,7	1,0

Высшая теплота сгорания горючей массы:

$$Q_{B}^{daf} = 81C^{daf} + 300H^{daf} - 26O^{daf} + 26S^{daf},$$

$$Q_{B}^{daf} = 4,19(81 \cdot 73,3 + 300 \cdot 5,2 - 26 \cdot 18,8 + 26 \cdot 1) = 29475 \text{ кДж/кг.}$$

Низшая теплота сгорания горючей массы:

$$Q_{H}^{daf} = Q_{B}^{daf} - 54 H^{daf},$$

$$Q_{H}^{daf} = 4,19(7034,5 - 54 \cdot 5,2) = 28298 \text{ кДж/кг.}$$

Зольность сухой массы $A^d = 19,0 \%$.

Влажность рабочего топлива $W = 20,0 \%$.

В табл. 2 и 3 приведены материальный и тепловой балансы газогенератора, рассчитанные на 1000 кг угля.

Таблица 2

Материальный баланс газогенератора (на 1000 кг угля)

Приход			Расход		
Наименование статей	Масса, кг	Содержание, %	Наименование статей	Масса, кг	Содержание, %
1. Уголь в т.ч. зола	1000,0 152,0	29,9	1. Генераторный газ	2796,0	83,7
2. Водяной пар	200,0	6,0	2. Водяной пар	312,0	9,3
3. Воздух	2141,0	64,1	3. Смола	42,0	1,3
			4. Шлак	170,0	5,1
			5. Унос	20,0	0,6
			6. Невязка	1,0	0,0
Итого	3341,0	100	Итого	3341,0	100

Таблица 3

Тепловой баланс газогенератора (на 1000 кг угля)

Приход			Расход		
Наименование статей	МДж	Содержание, %	Наименование статей	МДж	Содержание, %
1. Уголь в т.ч. зола	19101,0	97,2	1. Генераторный газ	15083,9	76,8
2. Водяной пар	520,7	2,7	2. Водяной пар	949,1	4,8
3. Воздух	25,9	0,1	3. Смола	1494,1	7,6
			4. Шлак	598,3	3,0
			5. Унос	385,1	2,0
			6. Потери в окружающую среду	955,1	4,8
			7. Невязка	182,0	1,0
Итого	19647,6	100	Итого	19647,6	100

По приведенным данным рассчитаны основные конструктивные параметры газогенератора производительностью 3 т/ч. Габариты газогенератора: диаметр – 2,6 м, высота – 5,76 м, толщина огнеупорного слоя – 0,32 м.

Проведена оценка эффективности строительства проектируемого газогенератора и газогенераторного цеха. Рассчитана себестоимость генераторного газа, капитальные и материальные затраты. Срок окупаемости капитальных вложений на строительство газогенераторной станции составляет 1,5 года.

Таким образом, газификация твердого топлива на электростанциях позволяет получить экологически чистое газовое топливо, а также возможность значительно (до 50 % и более) увеличить энергетический КПД ТЭС.

Строительство газогенераторной станции для переработки бурого угля и получения газогенераторного газа экономически оправдано позволяет использовать имеющиеся ресурсы бурого угля, не находящие применения в настоящее время.

УДК 66.045.3

Краснова Н. П., Мжельская О. Ю., Щелоков А. И.
Самарский государственный технический университет
mzhelskaya.olga@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ В ТРУБОПРОВОДЕ

В настоящее время состояние системы теплоснабжения и, как следствие, сохранение теплоты при транспортировке горячей воды является одной из первостепенных проблем. При транспортировке теплоносителя теряется до 35 % тепловой энергии. Энергосбережение и энергоэффективность входят в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и в перечень критических технологий РФ (утверждено Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899) [1]. В связи с постоянным удорожанием энергоресурсов в последние годы значительно увеличиваются расходы на тепловую энергию как для частного населения, так и для промышленных предприятий. В этих условиях все больше и больше возрастает значение внедрения энергосберегающих технологий.

На сегодняшний день имеется множество видов теплоизоляционных материалов. Наиболее часто используются пенополистирол, пенополиуретан и минеральная вата. Они получили широкое распространение вследствие низкого коэффициента теплопроводности (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты теплопроводности теплоизоляционных материалов

№	Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К
1	Пенополистирол	0,04
2	Пенополиуретан	0,03
3	Минеральная вата	0,055

С целью повышения энергоэффективности работы тепловых сетей предлагается использовать принципиально новый теплоизоляционный материал, благодаря которому можно экономить на количестве изоляции, сохраняя при этом низкие теплотери.

В качестве теплоизоляционного материала предлагается использовать полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), поверхность которого покрыта небольшими ячейками, заполненными диоксидом углерода. Углекислый газ (CO_2) – бесцветный газ (в нормальных условиях), без запаха, со слегка кисловатым вкусом. Диоксид углерода не токсичен.

На сегодняшний день одними из самых доступных и распространенных газов, применяемых в технике, являются кислород, диоксид углерода и азот. У диоксида углерода коэффициент теплопроводности составляет $\lambda = 0,014 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, что существенно ниже, чем у остальных газов (рис. 1), следовательно, его можно использовать как наполнитель для ячеек полиэтилена высокой плотности, в целях сохранения теплоты.

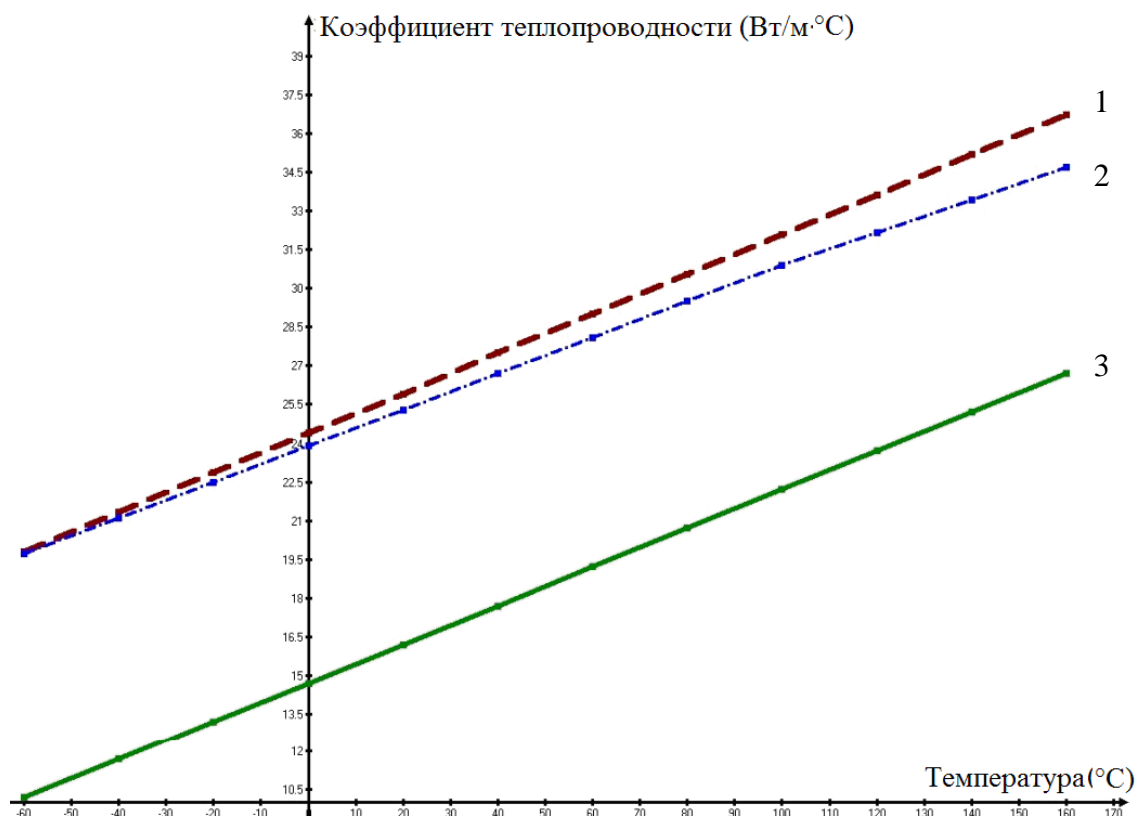


Рис. 1. Диаграмма зависимости коэффициента теплопроводности воздуха (1), азота (2) и диоксида углерода (3) от температуры

Использование полиэтилена высокой плотности обусловлено низкими стоимостными показателями, доступностью и оптимальными теплофизическими показателями. Полиэтилен высокой плотности (HDPE) – это полиэтилен с линейной макромолекулой и относительно высокой плотностью ($0,960 \text{ г/см}^3$). Это полиэтилен, называемый также полиэтиленом низкого давления (ПЭНД), его получают полимеризацией со специальными катализаторными системами.

Пленки на основе ПЭВП более жесткие, прочные, менее воскообразные на ощупь по сравнению с пленками на основе ПЭНП.

Главными преимуществами такого вида изоляции являются: большее термическое сопротивление, по сравнению с имеющимися аналогами; повышенная устойчивость к воздействию влаги и, как следствие, дополнительная защита от коррозии; невысокая стоимость; простота и удобство монтажа; долговечность.

Но у такого материала есть один минус – его невозможно использовать при температуре выше 120 °С, так как полиэтилен начинает плавиться.

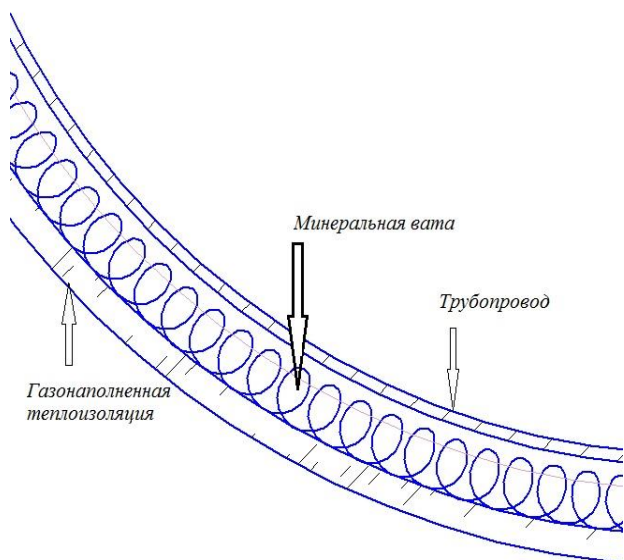


Рис. 2. Комбинированная тепловая изоляция

На основе вышесказанного предлагается использовать газонаполненную теплоизоляцию как дополнительный слой с другим существующим теплоизоляционным материалом, например минеральной ватой (рис. 2). Это дает возможность использовать слоистую теплоизоляцию при более высоких температурах трубопровода [2].

В табл. 2 приведены показатели термического сопротивления, по итогам расчета [2, 3], для трубопровода изолированного минеральной ватой, слоистой теплоизоляцией и комбинированным материалом, соответственно.

Таблица 2

Термическое сопротивление различных материалов

Материал	Термическое сопротивление, м·К/Вт
Минеральная вата	0,11
ПЭВП + CO ₂	0,248
ПЭВП + CO ₂ + Минеральная вата	0,541

Благодаря тому, что энергоэффективная теплоизоляция имеет большое термическое сопротивление (соответственно невысокий коэффициент теплопроводности), можно использовать меньшее количество минеральной ваты, что приводит к существенному удешевлению общего слоя теплоизоляции трубопровода.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 7.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/55171684/> (дата обращения: 13.10.2014).
2. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Введ. 2003-11-01. М. : Госстрой, 2003. 28 с.
3. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. Введ. 2003-09-01. М.: Госстрой России, 2003. 48 с.

ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА НАТРИЯ В ЗАО «РУССКИЙ ХРОМ 1915»

Процесс производства сульфата натрия в ЗАО «Русский хром 1915» (г. Первоуральск Свердловской области) основан на химическом методе очистки раствора сульфата натрия от шестивалентного хрома, осаждении его в виде гидроксида хрома с последующим разделением суспензии на патронных фильтрах, упаривании очищенных растворов, отделении кристаллического сульфата натрия на центрифуге и его сушке. Данная технология имеет два существенных недостатка, связанных с проведением стадий фильтрования и сушки. В процессе фильтрования при удалении осадка с патронов образуется суспензия гидроксида хрома, которая содержит до 30 % мас. Na_2SO_4 . Далее ее направляют на шламовый прудок, что приводит к значительным потерям сульфата натрия и хрома. Сушка сульфата натрия в настоящее время осуществляется в двух трубах – сушилках высотой 15 м каждая и диаметром 0,25 м, работающих параллельно. Сушилки являются энергоемкими и габаритными. Влажный материал на сушку поступает после четырех центрифуг двумя ленточными конвейерами. Такая организация процесса связана со значительным расходом энергии и с большим количеством вспомогательного оборудования.

Целью работы явилось изучение возможности совершенствования технологии получения сульфата натрия и экономии материальных, энергетических и финансовых ресурсов предприятия.

Проведен анализ способов получения сульфата натрия, сделан литературный обзор по процессам фильтрования суспензии и сушки на различных видах оборудования, а также учтены требования рыночной экономики и политики государства о бережливости и экономии.

Установлено, что пульпа, поступающая на стадию фильтрования, содержит до 1,94 % мас. твердой фазы гидроксида хрома. Содержание такого небольшого количества твердых частиц достаточно для образования осадка, но скорость образования его на фильтре слишком мала. Поэтому для увеличения производительности фильтрования разделение суспензии предлагается осуществлять в две стадии: первую стадию проводить на имеющихся патронных фильтрах–сгустителях при избыточном давлении 0,3 МПа, вторую стадию на фильтр-прессе с горизонтальными плитами КМП. Работа фильтра осуществляется следующим образом: при сжатых плитах суспензия под давлением поступает в нижнюю часть каждой плиты – фильтрующую камеру. Жидкая фаза проходит через ткань (ТЛФ-5), дренажное основание и через коллектор выводится из фильтра. Твердая фаза, задержанная тканью, предварительно прессуется. Далее осадок просушивается сжатым воздухом и выгружается при раскрытии

фильтр–пресса. Осадок выносится на ткани из межплитного пространства и сбрасывается в точки–бункеры по обе стороны фильтра. Ткань протягивается через камеру регенерации, промывается, фильтр вновь зажимается, и рабочий цикл повторяется. Очищенный раствор сульфата натрия после второй стадии фильтрования направляется вместе с основным потоком на упарку. В результате усовершенствования стадии фильтрования увеличивается степень извлечения сульфата натрия до 94,5 %. Одновременно с этим дополнительно извлекается гидроксид хрома, который предполагается использовать в качестве добавки к хромитовой руде в производстве монокромата натрия.

С целью изыскания возможности энергосбережения на стадии сушки проведен анализ различных типов сушильных установок, в результате которого выбрана аэрофонтанная сушилка. Этот аппарат является менее энергоемким, малогабаритным и простым в обслуживании. Расчет сушилки подтвердил возможность замены двух труб-сушилок на одну аэрофонтанную сушилку. Влажные кристаллы сульфата натрия выгружают на ленточный конвейер и направляют в загрузочный бункер. Они подхватываются смесью воздуха с топочными газами, полученными при сжигании природного газа в топке, и затем вносятся в сушильную камеру с закрученным кипящим слоем. Температура газовой смеси составляет от 330 до 380 °С. Закручивание обеспечивается за счет тангенциальной подачи сульфата натрия и специального устройства газораспределительной решетки. Высушивание продукта определяется временем его нахождения в сушильной камере и регулируется путем создания необходимой высоты кипящего слоя.

Выполнены материальные и тепловые расчеты стадий производства, а также расчет оборудования. Установлено, что выпуск сульфата натрия увеличится на 1300 т/год и составит 28500 т/год. Ориентировочные технико-экономические расчеты показали, что чистая прибыль составит около 2900 тыс. руб., условно-годовая экономия – 606 тыс. руб.

Таким образом, предлагаемое решение позволит увеличить степень использования сульфата натрия и гидроксида хрома, а также сэкономить материальные, энергетические и финансовые ресурсы предприятия.

УДК 691.54

Крылов М. В., Герасимова Е. С.
Уральский федеральный университет,
es.gerasimova@yandex.ru

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛИМЕРМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ

Работа посвящена вопросу экономии материальных ресурсов при производстве современных строительных материалов отделочного назначения, в частности отделочных составов на основе портландцемента, модифицированного полимерами. Изучалась возможность замены части портландцемента на

золу-унос для получения указанного состава.

Для работы использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н; три вида зол, образовавшихся при сжигании твердого топлива на Березовской, Эстонской и Рефтинской ГРЭС. В качестве полимерных модификаторов использовали винилацетатный редиспергируемый полимерный порошок (PAV-22) и стирол-акрилатную жидкую дисперсию (Acronal 290D).

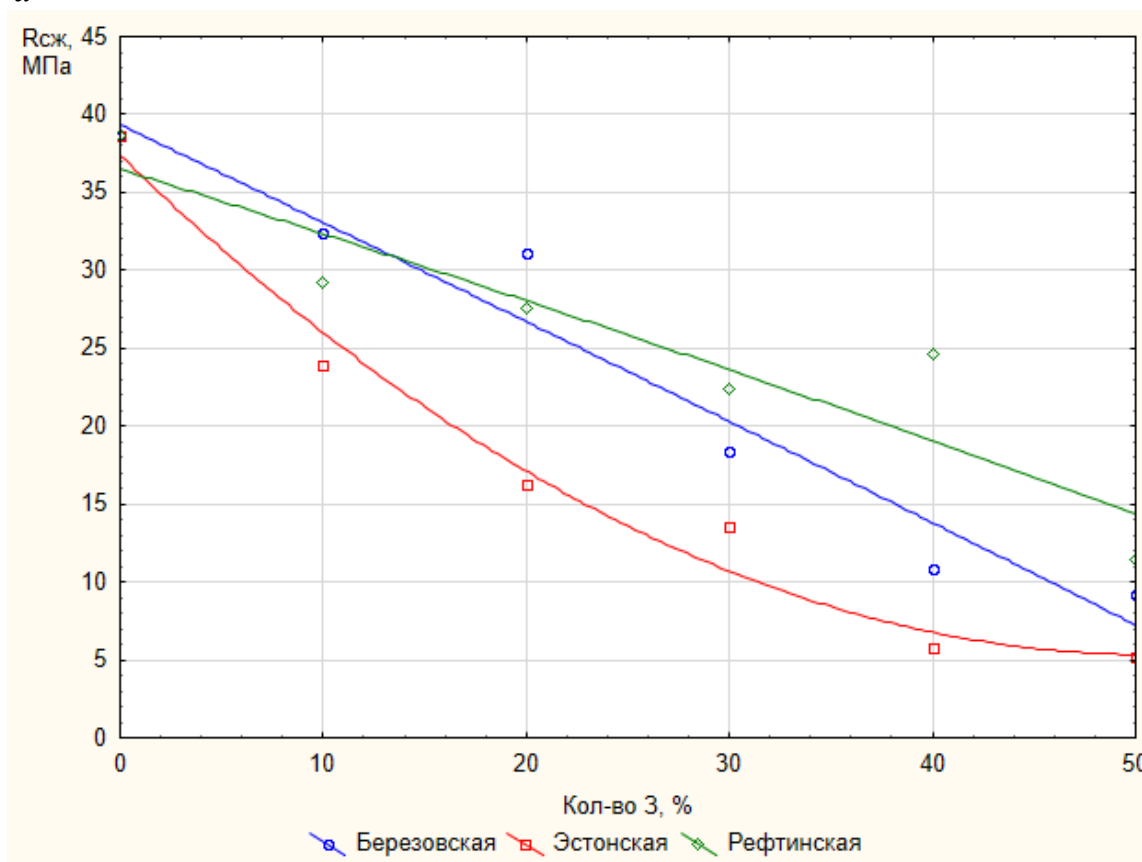
Первоначально подбиралось оптимальное количество полимерных добавок-модификаторов. В результате для порошка PAV-22 было выбрано 2,5 %, а для дисперсии – 3 % от массы цемента.

Для изучения влияния разного количества золы на прочность полимермодифицированного цементного камня формовались составы, содержащие 10, 20, 30, 40 и 50 % золы, затем у них определялась прочность при изгибе и сжатии в возрасте 3, 7, 14, 21 и 28 суток. При формировании сохранялось одинаковое В/Ц, условия хранения – комбинированные. Прочность изучаемых составов в возрасте 28 суток показана на рис. 1, 2.

Установлено, что в присутствии порошка PAV-22 меньшее снижение прочности наблюдается при введении Рефтинской золы, как при изгибе, так и при сжатии. Сильнее всего снижает прочность Эстонская зола.

В присутствии полимерной дисперсии прочность при изгибе практически не меняется при введении 10 % золы независимо от ее вида, но максимальной прочностью при изгибе и сжатии обладает состав с 10 % Эстонской золы.

a



б

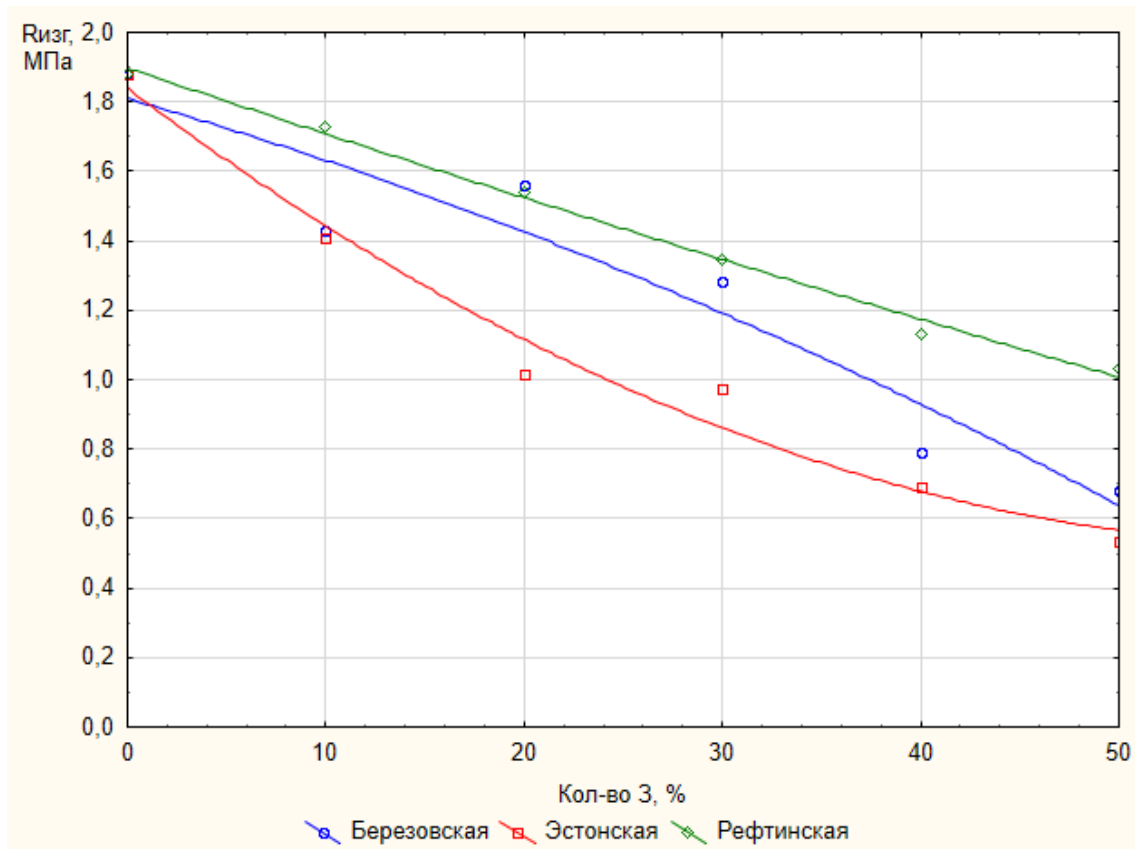
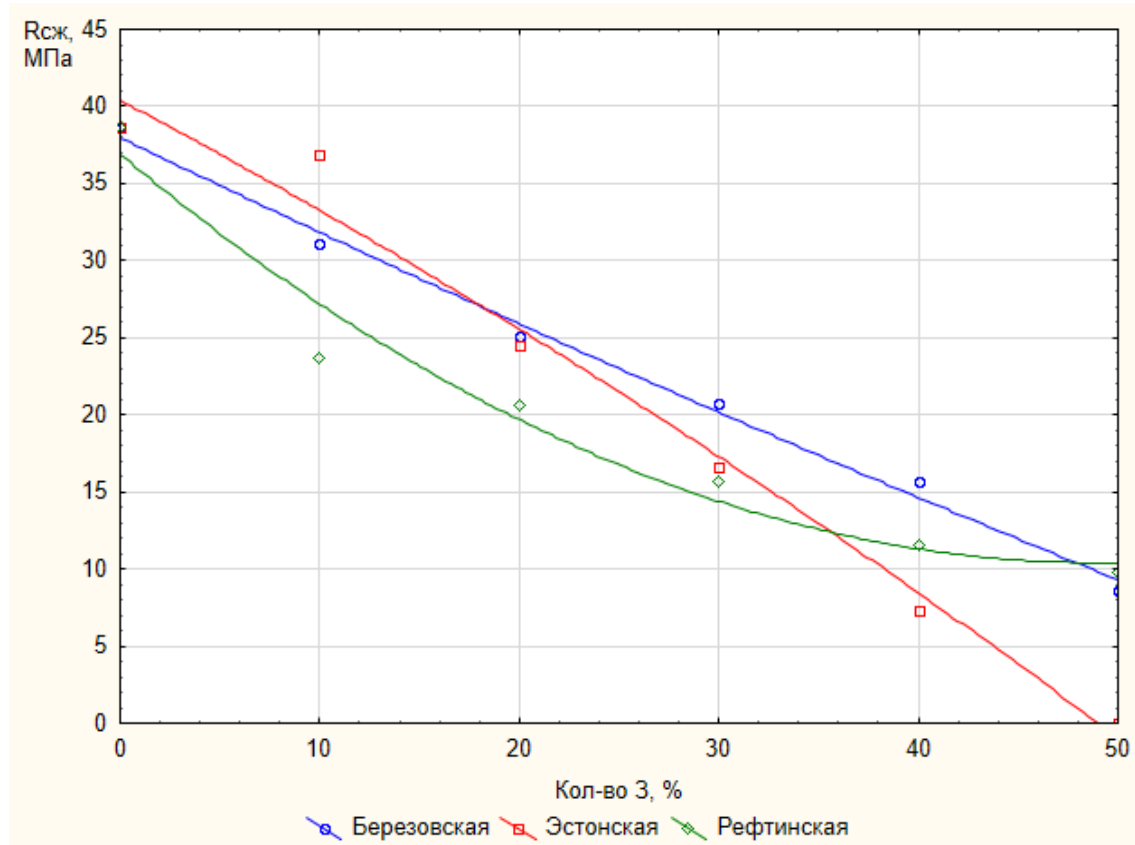


Рис. 1. Прочность полимермодифицированного цементного камня в зависимости от вида и количества золы в возрасте 28 суток с 2,5 % PAV-22 (a – прочность на сжатие, $б$ – прочность на изгиб)

а



б

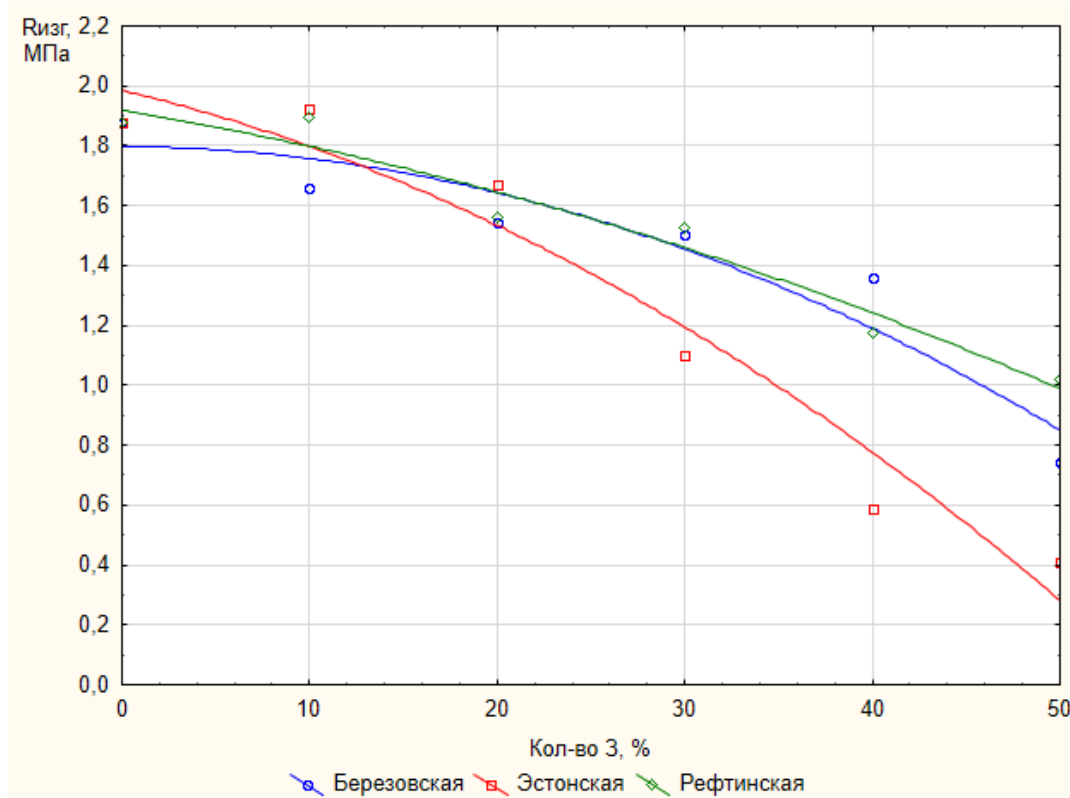


Рис. 2. Прочность полимермодифицированного цементного камня в зависимости от вида и количества золы в возрасте 28 суток с 3 % Acronal290D (а – прочность на сжатие, б – прочность на изгиб)

В результате проведенной работы можно сделать следующий вывод. Возможна 10%-я процентная экономия портландцемента при использовании Эстонской золы-унос в присутствии полимерной жидкой добавки Acronal290D без потери прочности. Это обусловлено, на наш взгляд, гранулометрией золы и полимерной добавки, за счет которых обеспечивается более плотная упаковка в структуре цементного камня.

УДК 691.54

Крылов М. В., Герасимова Е. С., Бердышев А. А.
Уральский федеральный университет,
es.gerasimova@yandex.ru

РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОПАРИВАЕМЫХ ПОЛИМЕРМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ

При производстве изделий и конструкций на основе портландцемента важной технологической операцией является тепловлажностная обработка, которая значительно ускоряет сроки твердения изготавливаемых изделий. Сроки

сокращаются от 28 суток до 10–20 часов в среднем в зависимости от вида, габаритов изделия, а также от особенностей технологии.

Целью работы является изучение возможности замены части цемента на золу-унос для пропариваемых полимермодифицированных составов. Для этого использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н; три вида зол, образовавшихся при сжигании твердого топлива на Березовской (ЗБ), Эстонской (ЗЭ) и Рефтинской ГРЭС (ЗР). В качестве полимерных модификаторов использовали винилацетатный редиспергируемый полимерный порошок (PAV-22) и стирол-акрилатную жидкую дисперсию (Acronal 290D).

В результате проведения предварительных исследований был определен расход полимеров (2,5 и 3 % для PAV-22 и Acronal 290D, соответственно), а также выбрано количество замещения: 10 и 20 % золы, при котором наблюдалось приемлемое незначительное снижение прочности составов.

При формовании составов В/Ц сохранялось одинаковым. Пропаривание образцов проводилось в камере ТВО при 85 °С. Режим тепловлажностной обработки следующий: предварительная выдержка – 2 ч, подъем температуры – 2 ч, изотермическая выдержка – 5 ч, охлаждение – 2 ч. Всего – 11 ч. После ТВО у составов были определены плотность и прочность (таблица, рис. 1, 2).

Плотность цементного камня в зависимости от содержания золы и полимерных добавок после ТВО

Вид золы / Кол-во, %	Вид полимерной добавки / Кол-во, %	Плотность, кг/м ³
0	0	2086
0	PAV-22 / 2,5	2014
ЗБ / 10	PAV-22 / 2,5	1922
ЗБ / 20	PAV-22 / 2,5	1855
ЗР / 10	PAV-22 / 2,5	1830
ЗР / 20	PAV-22 / 2,5	1791
ЗЭ / 10	PAV-22 / 2,5	1977
ЗЭ / 20	PAV-22 / 2,5	1889
0	Acronal290D/ 3	1883
ЗБ / 10	Acronal290D/ 3	1778
ЗБ / 20	Acronal290D/ 3	1900
ЗР / 10	Acronal290D/ 3	2025
ЗР / 20	Acronal290D/ 3	1658
ЗЭ / 10	Acronal290D/ 3	1636
ЗЭ / 20	Acronal290D/ 3	1916

В результате работы выяснилось, что прочность при изгибе составов с Acronal290D выше при использовании Рефтинской золы и больше контрольного состава только с полимером. Прочность на сжатие также оказывается больше в присутствии Acronal290D и 10%-й Рефтинской золы. Не рекомендуется применять полимерный порошок для пропариваемых составов.

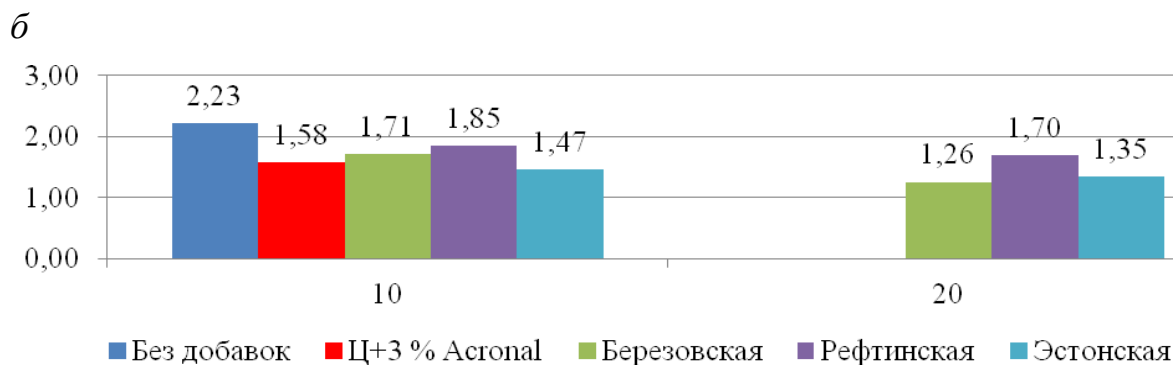
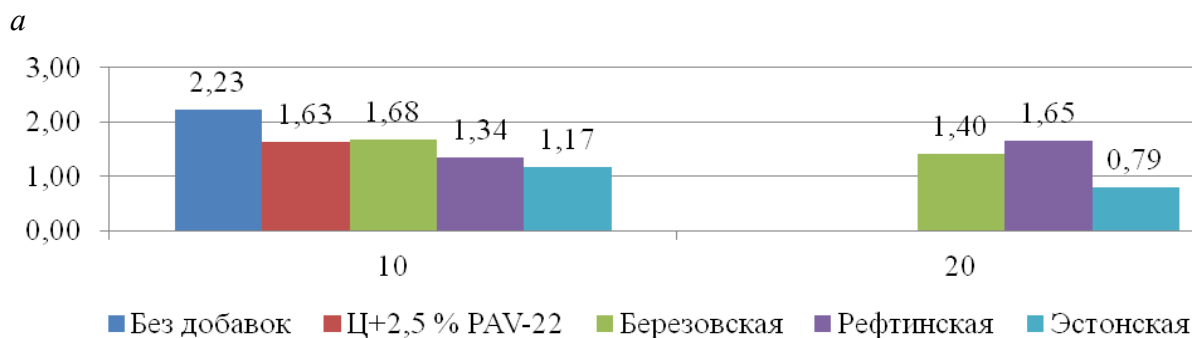


Рис. 1. Прочность при изгибе полимерцементного камня в зависимости от вида и количества золы после ТВО, МПа (*a* – с PAV-22, *б* – с Acronal290D)

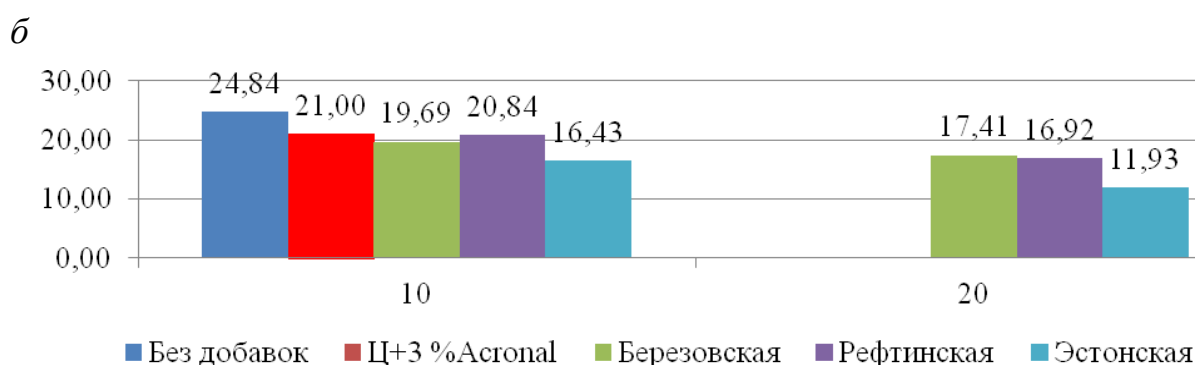
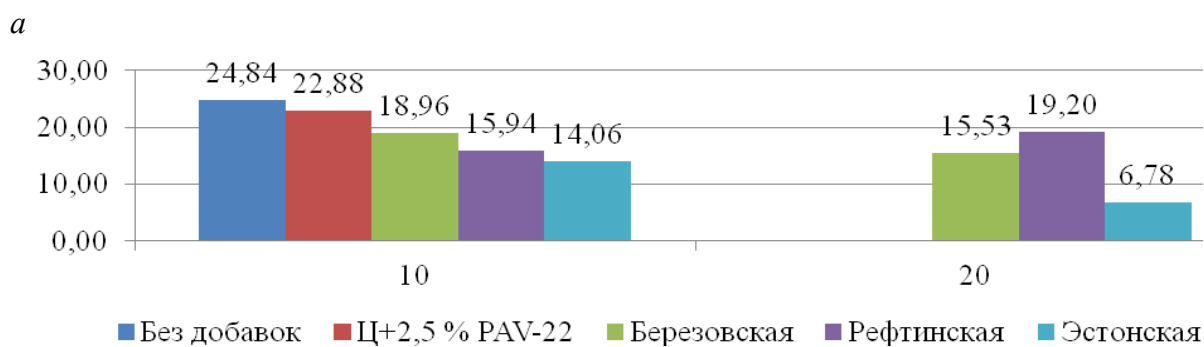


Рис. 2. Прочность при сжатии полимерцементного камня в зависимости от вида и количества золы после ТВО, МПа (*a* – с PAV-22, *б* – с Acronal290D)

В результате проведенной работы можно сделать следующий вывод. Возможна 10%-я экономия портландцемента при использовании Рефтинской золы-уноса в присутствии полимерной жидкой добавки Acronal290D для составов, подвергаемых пропариванию.
УДК 536.421.4

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЫПАРИВАНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ (СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ)

Вопрос очистки сточных вод остро стоит перед любым предприятием, где в процессе производства получают жидкие отходы. Способ решения этой проблемы обеспечивает не только охрану окружающей среды, но и эффективность использования материальных, энергетических и финансовых затрат предприятия.

Заводы, имеющие жидкие отходы, все чаще переходят на закрытую систему водоснабжения, что способствует улучшению экологической обстановки, снижению затрат на экологические налоги, а также позволяет использовать кристаллизованные и концентрированные отходы как вторичное сырье для собственного и других производств.

Таким образом, пользуются спросом кристаллизационно-выпарные установки. Но на их внедрение и эксплуатацию также идут значительные материальные и финансовые затраты: высокая металлоемкость, дороговизна производства и эксплуатации энергоносителей, множество дополнительных трубопроводов и вспомогательной аппаратуры. Отдельное внимание требуют теплопередающие поверхности: инкрустация солей значительно снижает эффективность таких аппаратов, появляется необходимость в их чистке, химически агрессивные среды и среды, содержащие абразивные частицы, изнашивают основные элементы конструкции аппаратов.

Для того чтобы уйти от проблем в существующих кристаллизационных аппаратах, авторы доклада решили применить объемный нагрев растворов с помощью электромагнитного СВЧ-излучения.

Использование зарубежных САЕ – систем (системы конечно-элементного анализа MSC.Nastran, ANSYS, COSMOS, MSC.Marc) для расчета кристаллизационных и выпарных установок на основе нагрева СВЧ-излучением ограничивается высокой стоимостью такого программного обеспечения и необходимостью в высокой вычислительной мощности.

Целью данной научной работы является:

- 1) оценка возможности использования данного метода для выпаривания и кристаллизации водных растворов,
- 2) изучение процессов выпаривания и кристаллизации растворов в прозрачных для СВЧ-излучения емкостях,
- 3) создание метода проектирования систем выпаривания и кристаллизации водосодержащих отходов СВЧ-излучением,

4) получение исходных данных для проектирования выпарной кристаллизационной установки с нагревом СВЧ-излучением.

В докладе приведены данные проведенных экспериментов, введен и обоснован коэффициент, устанавливающий связь между мощностью излучения, площадью зеркала раствора и брызгоуносом материала, составлен энергетический баланс процесса, вычислен КПД.

УДК 662.741.3

Кузовков С. В., Дунцев Д. Ю., Мамаев М. В., Стахеев С. Г.
Уральский федеральный университет,
ukovuhin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ «ДОБАВКИ КОКСУЮЩЕЙ» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА КАК ПУТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИ- НЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Глубина переработки нефти (ГПН) на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) в Европе составляет 85 %, в США – 96 %, в то время как на НПЗ в России в 2013 г. ГПН составила всего 71,5 %. Таким образом, увеличение ГПН в России является в настоящее время актуальнейшей задачей.

Увеличить глубину переработки нефти до 85–90 % можно только при условии переработки гудрона и тяжелых нефтяных остатков с получением дополнительного количества светлых дистиллятов в таких процессах, как каталитический крекинг; гидрокрекинг; висбрекинг и замедленное коксование.

Наиболее эффективным и динамично развивающимся процессом в мире является замедленное коксование. Мировое производство нефтяного кокса в установках замедленного коксования (УЗК) растет устойчивыми темпами, и в настоящее время мощности по перерабатываемому сырью достигли ~ 220 млн т в год. Это обусловлено тем, что каждый процент увеличения мощности процесса коксования к объему первичной переработки обеспечивает 4–5 % экономии перерабатываемой нефти [1].

Широкое распространение УЗК на зарубежных НПЗ обусловлено не стремлением увеличения производства нефтяного кокса для алюминиевой и электродной промышленности (для этих целей используется всего 12-14 млн т в год), а необходимостью получения максимального количества дистиллятов для последующего производства моторных топлив и, как следствие, углубления переработки нефти [1]. Основное количество получаемого за рубежом нефтяного кокса используется в качестве топлива для получения тепловой или электрической энергии с обязательной очисткой дымовых газов от соединений серы.

На российских НПЗ в настоящее время эксплуатируется девять УЗК проектной мощностью ~7,6 млн т по исходному сырью в год. Нефтяной кокс трех НПЗ с содержанием серы до 1,5 % и выходом летучих веществ не более 9 % используется в алюминиевой промышленности. Остальные предприятия сталки-

ваются с трудностями при реализации производимого нефтяного кокса с содержанием серы более 3 %. Использование высокосернистого кокса в энергетике сдерживается необходимостью значительных капитальных затрат в строительство сероочистных установок.

С целью квалифицированного сбыта твердого продукта замедленного коксования в России была разработана и освоена на промышленных УЗК технология получения «добавки коксующей» (ДК) для применения в качестве компонента угольной шихты для производства кокса [1, 2]. «Добавка коксующая» отличается от нефтяного кокса повышенным выходом (до 15–25 % масс.) летучих веществ.

По литературным данным, ДК квалифицированно заменяет концентраты спекающихся углей ценных марок К, КО, ОС, обеспечивает повышение выхода металлургического кокса и снижение от 5 до 20 % удельного расхода кокса на выплавку чугуна, никеля, меди [3] за счет улучшения его качества [4].

ДК отличается от угольных концентратов очень малой зольностью, но в то же время высоким содержанием серы. Данные технического анализа одной из проб ДК, %: зольность (A^d) – 0,39; выход летучих (V^{daf}) – 18,7; содержание серы (S^d) – 4,43. Для сравнения: концентраты спекающихся углей Кузнецкого бассейна имеют зольность (A^d) на уровне 8–10 %, а содержание серы (S^d) около 0,5 %. Цена ДК значительно ниже цены угольных концентратов заменяемых марок.

Для изучения влияния качества исходной шихты, периода коксования шихты и содержания в шихте ДК на механическую прочность получаемого кокса был проведен математико-статистический анализ работы одного из коксохимических предприятий России за год.

Оценивали влияние на качество кокса по показателям М25 и М10 следующих параметров: толщина пластического слоя; плотность насыпной массы шихты, помол шихты, выход летучих, содержание в шихте добавки коксующей и периода коксования. Из-за узкого диапазона изменения величины первых четырех показателей их влияние на качество кокса выявлено не было. Из входных параметров значимыми являются содержание в шихте ДК и период коксования. Число наблюдений составило 308 для показателя М25 и 710 для показателя М10.

В результате статистической обработки данных было установлено, что экспериментальные данные наилучшим образом описываются уравнением множественной нелинейной регрессии. Уравнение множественной нелинейной регрессии для показателя М25, характеризующего прочность кускового тела кокса, имеет следующий вид:

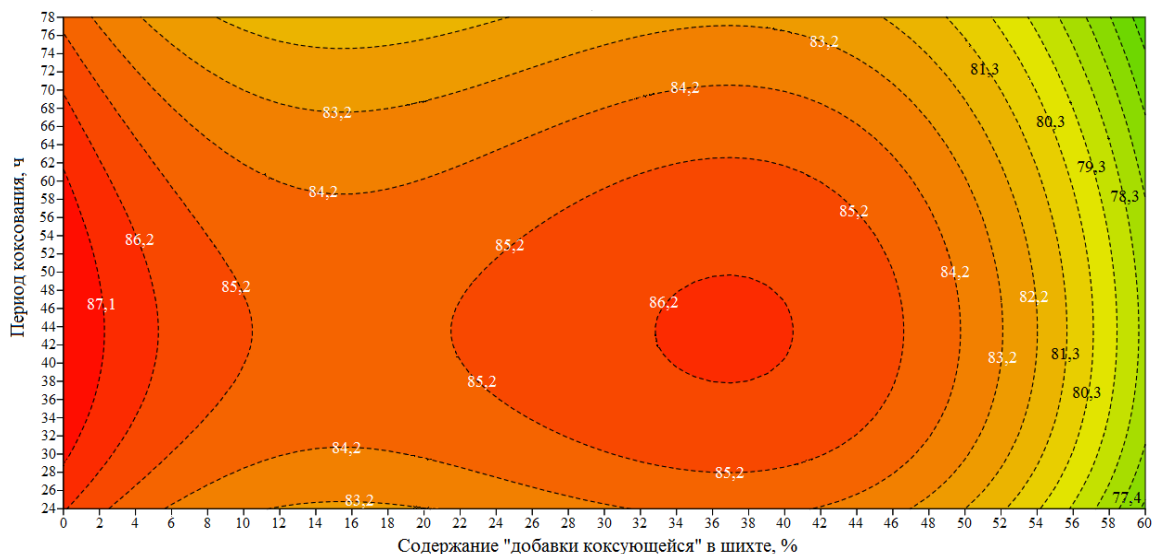
$$M25 = 60,06 - 0,48DK - 0,644ПК + 8,48ПК^{1/2} + 0,022DK^2 - 0,00028DK^3,$$

где ДК – содержание в шихте добавки коксующей, %; ПК – период коксования, ч.

Регрессионный анализ показал, что коэффициенты регрессионного уравнения значимы, а полученное уравнение регрессии адекватно экспериментальным данным. Коэффициент детерминации (R^2) равен 0,751, что по шкале Чеддока характеризует связь между М25 и переменными как высокую. Средняя относительная ошибка прогнозирования показателя М25 равна 1,23 %.

Связь показателя M10, характеризующего истираемость кокса, с периодом коксования и содержанием ДК по шкале Чеддока характеризуется как умеренная, так как коэффициент детерминации (R^2) в уравнении регрессии равен 0,407. Средняя относительная ошибка прогнозирования показателя M10 составляет 7,07 %.

Для практического применения результатов математико-статистического анализа была составлена карта уровней для показателя M25 (рисунок). Карта уровней позволяет оперативно принимать решения по использованию ДК в зависимости от текущего периода коксования на батарее и требований к механической прочности кокса.



Зависимость механической прочности кокса от периода коксования и содержания в шихте ДК

Таким образом, задача получения и использования ДК для производства кокса носит межотраслевой характер, и ее решение позволит увеличить глубину переработки нефти в нефтеперерабатывающей и улучшить сырьевую базу в коксохимической отраслях промышленности.

Список литературы

1. Габбасов Р.Г. Разработка технологий производства нефтяного углерода для использования в металлургической промышленности. 05.17.07. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ. Автореферат дисс... канд. техн. наук. Уфа, 2012.
2. Способ получения коксующей добавки замедленным коксованием нефтяных остатков: пат. Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://ru-patent.info/24/69/2469066.html> (дата обращения: 17.11.2014).
3. Исследование использования добавки коксующейся в производстве кокса для черной и цветной металлургии. Результаты. Достижения. Перспективы: Доклад / ООО «Проминтех НКА» // М. И. Стуков, М. В. Мамаев, В. А. Кобелев [и др.]. Екатеринбург, 2012.
4. Стуков М. И., Загайнов В. С., Куколев Я. Б. [и др.]. Исследование возможности использования «модифицированного» нефтяного кокса в качестве коксующей добавки к угольной шихте с целью повышения прочностных показателей металлургического кокса // Кокс и химия. 2009. № 8. С. 12–15.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ЭМУЛЬСОЛОВ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

При прокатке сталей используют нефтепродукты в качестве смазывающих и охлаждающих жидкостей (СОЖ). Вопрос утилизации отработанных СОЖ стоит достаточно остро и представляет несомненный практический интерес.

На ОАО «ММК» ежегодно образуется до 15000 тон отходов СОЖ прокатных станов. До последнего времени их не утилизировали, а вывозили в специальные хранилища. В настоящее время вывоз этих отходов запрещен.

На практике рассматриваются следующие возможные варианты утилизации.

1. При применении технологии разделения отходов очистки и разложения эмульсии – топливо, соответствующее требованиям «ГОСТ 10585-99. Межгосударственный стандарт. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия» либо энергоресурсы, с параметрами, соответствующими требованиям ОАО «ММК».

2. При применении технологии утилизации (сжигание, пиролиз) – энергоресурсы с параметрами, соответствующими требованиям ОАО «ММК».

3. При применении технологии утилизации в действующих технологических процессах ОАО «ММК» – отсутствие отрицательного влияния на качество основного конечного продукта, получаемого в результате технологического процесса.

В данной работе за основу был выбран третий вариант, как наиболее оптимальный. Предварительно было предложено утилизировать данные отходы на коксохимическом производстве того же комбината. В связи с чем, необходимо было определить термохимическую стойкость отходов и их ориентировочный химический состав для оценки влияния на готовую продукцию коксохимического производства – кокс.

В качестве отходов СОЖ исследовали отходы разложения (ОР) и отходы очистки (ОО). В первую очередь были определены технологические условия хранения СОЖ, которые показали что, для обеспечения стабильности свойств необходимо осуществлять постоянное перемешивание отходов при температурах не более 80–90 °С (табл. 1).

Согласно данным ИК-спектроскопии и ПМР-спектроскопии органическая составляющая обеих эмульсий состоит преимущественно из алифатических углеводородов, что ограничивает возможность их участия в шихте для коксования, как вещества другой природы.

Термогравиметрический анализ показал, что условно обе эмульсии состоят на 35–45 % из низкокипящих соединений (~ до 130 °С) и на 55–65 % – из выкипающих в интервале температур 160–450 °С.

Таблица 1

Характеристики отходов

Продукт	Поведение при перемешивании	Плотность, кг/м ³	Расслаивание	Особенности поведения при нагреве
Отходы разложения	Хорошо перемешивается	907	Наблюдалось расслаивание через 1,5–2 часа после перемешивания	При 80 °С вязкость понизилась, после 90 °С наблюдалось вспенивание
Отходы очистки	Плохо перемешивается	960	Наблюдалось расслаивание сразу после перемешивания	При 80 °С вязкость не изменялась, после 90 °С наблюдалось вспенивание

На основании полученных данных возможное доленое участие отходов СОЖ в шихте для коксования было ограничено 2 % и 5 % (табл. 2). Коксование этих шихт с СОЖ осуществляли в укрупненной лабораторной печи по ГОСТ 9521-84 с последующей оценкой качества получаемого кокса по ГОСТ Р 54250-2010 (ИСО 18894 : 2006). Результаты оценки реакционной способности кокса (CRI) и прочности кокса после реакции с CO₂ (CSR) показали (рисунок), что допустимо введение в угольную шихту до 1,0–1,5 % отходов СОЖ без существенного ухудшения качества кокса.

Таблица 2

Состав и насыпной вес шихт, показатели качества кокса

	Варианты шихт, %				
	Базовая	2 % ОР	5 % ОР	2 % ОО	5 % ОО
ОФ Кузнецкая	44	42,5	45	44	42,5
ОФ Сибирь	54	53,5	55	54	53,5
ОР	–	2	5	–	–
ОО	–	–	–	2	5
Насыпной вес, г/см ³	0,874	0,871	0,840	0,865	0,834
CRI, %	29,1	30,4	32,6	30,5	33,0
CSR, %	49,6	48,1	45,8	47,0	42,4

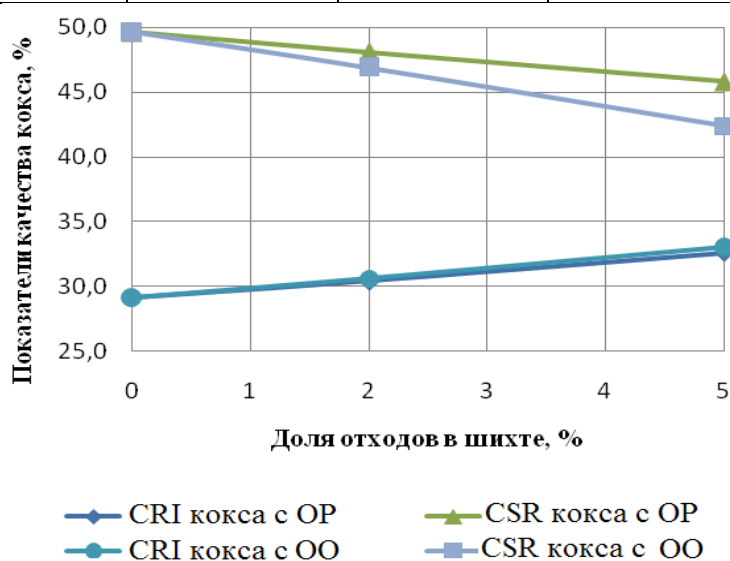
Выводы

1. Отходы СОЖ от очистки и разложения эмульсии можно добавлять в шихту в количестве не более 1,5 % без существенного снижения качества кокса.

2. Небольшие количества отходов (до 15000 т/год) не вызовут затруднений в их утилизации с угольной шихтой.

3. Необходимое оборудование либо имеется на коксохимическом заводе, либо не вызывает больших капитальных вложений.

УДК 691.43



Зависимость показателей качества кокса от доли участия отходов в шихте

РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Целью данного исследования является определение пригодности глинистого сырья и возможности замены традиционного сырья сырьем более низкого качества. Полученные данные позволят расширить сырьевую базу заводов по производству кирпича в Свердловской области, а также снизить затраты на приобретение дорогостоящих ресурсов.

На данном этапе определены технологические свойства глины по ГОСТ 21216. Установлено, что глина является мало пластичной с числом пластичности 6, грубодисперсной (содержание фракции менее 10 мкм 11,63 %), мало чувствительной к сушке (с коэффициентом чувствительности к сушке 0,28), хорошо сохнущая (воздушная усадка 4,5 %). По данным дифференциально-термического анализа, основным глинистым минералом является монтмориллонит. Предположительно спекание глины начинается при температуре обжига выше 800 °С.

По полученным данным, исследуемое глинистое сырье может быть использовано в производстве керамического кирпича методом пластического формования или полусухим способом. Введение пластичных легкоплавких глин в состав массы позволит повысить прочностные характеристики изделий.

УДК 628.31

Лежнина И. В., Селезнева И. С., Иванцова М. Н.
Уральский федеральный университет,
i.s.selezneva@urfu.ru

УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Для современного общества энергосбережение является одной из главных задач, поскольку основные энергоносители становятся все более дефицитными и, соответственно, возрастает стоимость их добычи. Необходимо стремиться к снижению энергозатрат, более бережно относиться к природным ресурсам и рационально их использовать. Это особенно актуально в отношении природной воды.

Возрастающее количество сбрасываемых загрязненных вод, наличие в них токсических веществ сегодня существенно ограничивают способность водоемов к самоочищению и могут приводить к серьезным экологическим проблемам. Необходимо проводить специальные мероприятия для очистки загрязненных сточных вод до пригодного состояния. Очистка стоков до концентраций, близких к предельно допустимым, является достаточно энергозатратным и, следовательно, дорогостоящим мероприятием. На рис. 1 приведена блок-схема очистки сточных вод.

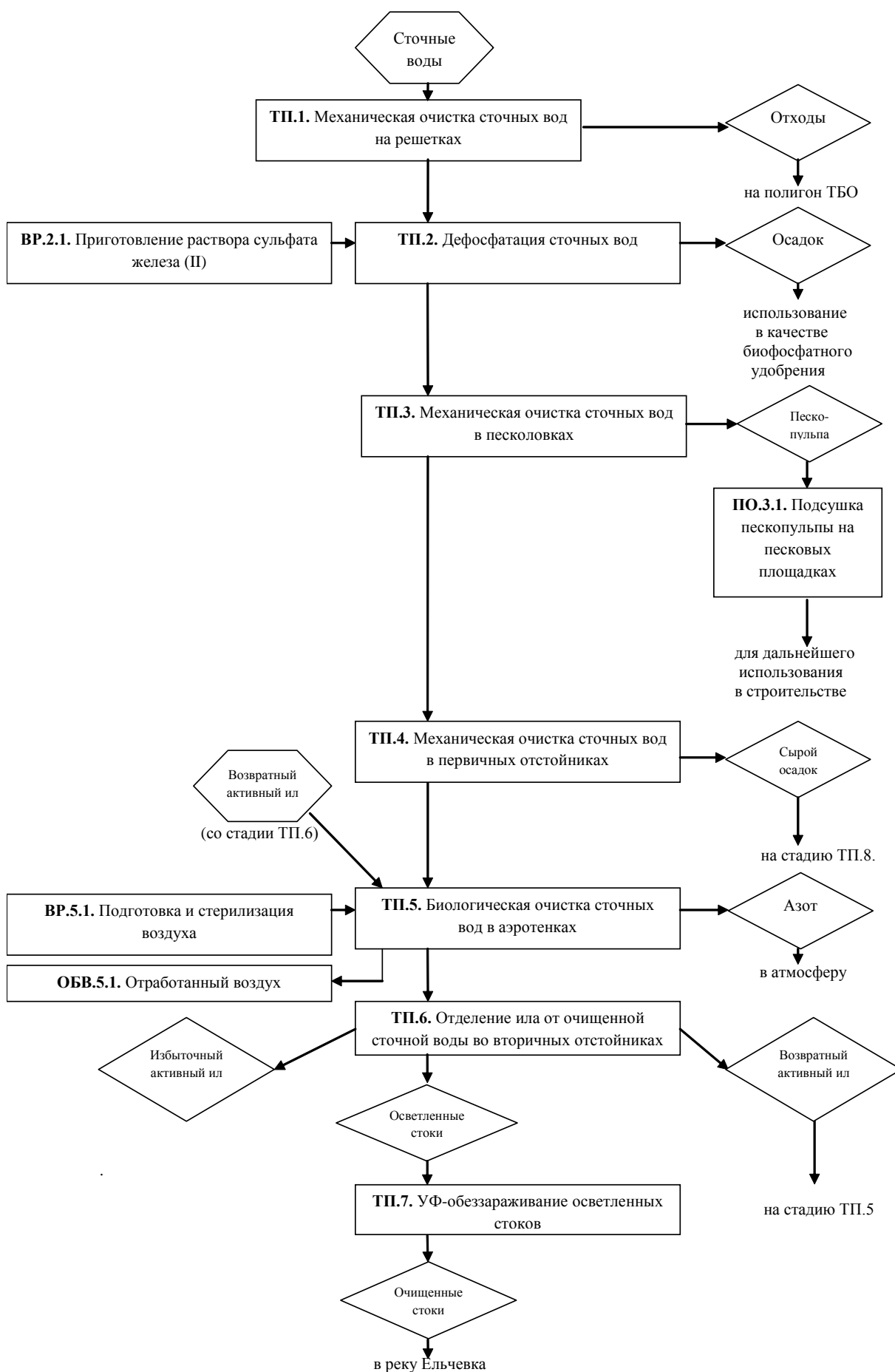


Рис. 1. Блок-схема очистки сточных вод

Для снижения энергоемкости процесса очистки сточных вод на УМП «Водоканал» городского округа Ревда в настоящей работе предлагается утилизировать образующийся при очистке сточных вод осадок путем анаэробного сбраживания в метантенке. При сбраживании осадка выделяется биогаз, используя который в качестве ВЭР на собственной котельной для получения тепловой энергии, можно сократить потребление природного газа.

Проведен теплотехнический расчет метантенка и установлено, что за сутки может выделиться $1865,730 \text{ м}^3$ биогаза. Поскольку процесс очистки сточных вод и утилизации осадка является непрерывным, то годовое количество биогаза составит 681,0 тыс. м^3 , при сжигании которого можно получить 3405 Гкал/год теплоты, что составит годовой выход ВЭР.

Годовое фактическое использование ВЭР составит:

$$3405 \text{ Гкал} \cdot 0,91 = 3098,55 \text{ Гкал},$$

где 0,91 – КПД котла ДКВР-4,0-13-ГМ, установленного на собственной котельной УМП «Водоканал» городского округа Ревда для сжигания природного газа и получения тепловой энергии [1].

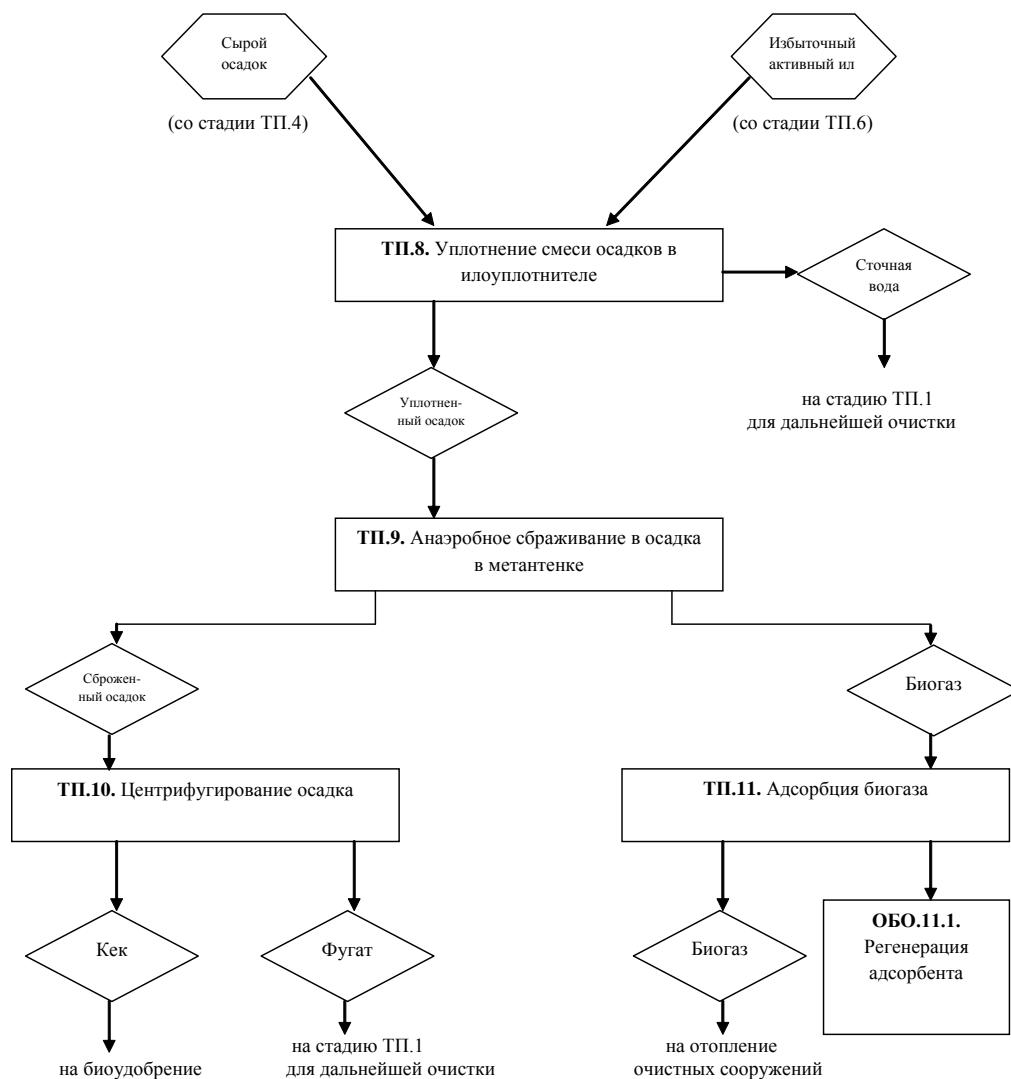


Рис. 2. Блок-схема стадии утилизации осадка

В результате за счет введения в технологическую схему очистки сточных вод нового дополнительно оборудования – метантенка для сбраживания осадка (рис. 2), потребление природного газа на собственной котельной может снизиться на 681 тыс. м³, энергоемкость процесса очистки сточных вод объемом 4523,17 тыс. м³ составит 0,16 т у.т./тыс. руб., стоимость очищенных сточных вод – 66626,29 тыс. руб., доля платы за энергоресурсы в стоимости очищенных сточных вод – 0,75 (при тарифах 2014 года на электроэнергию и природный газ).

Рассчитан срок окупаемости покупки, доставки и установки метантенка для утилизации осадка, образующегося при очистке сточных вод, – около 7 месяцев. Относительная эффективность в денежной форме составит 1,76 руб./руб. затрат.

Таким образом, введение дополнительной стадии при очистке сточных вод, а именно утилизации осадка путем анаэробного сбраживания во вновь устанавливаемом оборудовании (метантенке) с образованием биогаза, который можно использовать вместо природного газа на собственных котельных, относится к энергосберегающим мероприятиям, обеспечивающим по общепринятой классификации среднюю эффективность [2].

Список литературы

1. Паровые котлы серии ДКВР [Электронный ресурс]. URL: <http://www.generation-eo.ru/> (дата обращения: 04.11.2014).
2. Энергосбережение : Методические указания к выполнению раздела «Энергосбережение» в дипломных проектах и работах / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков, В. Ю. Балдин. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2003. 48 с.

УДК 691.54

Лузина Т. Э., Капустин Ф. Л.
Уральский федеральный университет,
smirnova-tanechk@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО ЦЕМЕНТА

Разнообразие строительных конструкций, особенности и существенные различия условий их эксплуатации при разных видах агрессивных воздействий требуют создания цементов со специальными техническими свойствами. Сульфоалюминатный цемент (САЦ) – разновидность специальных минеральных вяжущих, основным определяющим свойством минерала которого является сульфоалюминат кальция $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ ($\text{C}_3\text{A}_3\text{CS}$). Отличительными особенностями САЦ являются более низкая температура обжига клинкера по сравнению с портландцементным (125–145 °С), высокая гидратационная активность и быстрый набор прочности, отсутствие усадки или расширения в процессе твердения, низкое выделение CO_2 в атмосферу при обжиге клинкера, что обеспечивает энерго- и ресурсосберегающий, а также экологический эффект.

Однако промышленное производство САЦ с содержанием сульфоалюмината кальция не менее 40 % требует использования дефицитных сырьевых материалов (технического глинозема, бокситов, алюминатных шлаков), что существенно удорожает и, как следствие, ограничивает производство цемента. В России производство САЦ организовано в ограниченном количестве только на ОАО «Подольский цемент», а на строительном рынке реализуется также цемент производства Китая и других стран.

Основными направлениями применения САЦ являются:

- промышленное и гражданское строительство в зимний период;
- ремонт бетонных конструкций и сооружений;
- торкретирование;
- строительство гидротехнических объектов и морских сооружений;
- дорожное и мостовое строительство;
- производство изделий и сборные железобетонные конструкции;
- строительство объектов и сооружений с высокими температурами эксплуатации;
- использование в качестве расширяющей и ускоряющей твердение добавки.

Целью данной работы было исследование физико-механических свойств САЦ разных классов прочности производства Китая.

Исследовали САЦ пяти классов прочности: CSA 42,5, CSA 52,5, CSA 72,5, CSA 82,5 и CSA 92,5, а также новую разновидность цемента CSA. САЦ являются быстротвердеющими цементами, и поэтому их класс прочности определяется по пределу прочности при сжатии образцов, приготовленных из раствора, через 3 сут. водного твердения. Установлено, что все САЦ имеют светло-желтый цвет и характеризуются разными физико-механическими свойствами.

В работе были изучены дисперсность, водопотребность, сроки схватывания, тепловыделение при твердении, предел прочности при сжатии цементного камня. В табл. 1 представлены некоторые свойства САЦ, определенные в лаборатории ЗАО «Невьянский цементник», которые подтверждают соответствие заявленных производителем классов прочности фактической их активности.

Испытания проб САЦ в лаборатории кафедры материаловедения в строительстве проводили не более чем через 2 месяца после их изготовления на цементном заводе. Для сравнения были определены также свойства тампонажного портландцемента повышенной сульфатостойкости ПЦТ 1-G-СС-1.

Таблица 1

Характеристики сульфоалюминатных цемента CSA

Поз.	Свойства		Класс прочности цемента			
			42,5	72,5	82,5	92,5
1	Удельная поверхность, м ² /кг		≥350	≥350	400	≥350
2	Предел прочности на сжатие, МПа	1 сут.	44,6	65,6	55,0	73,4
		3 сут.	55,3	82,3	82,5	100,8
3	Предел прочности на изгиб, МПа	1 сут.	7,1	8,1	8,0	8,5
		3 сут.	8,2	9,2	8,5	9,7

Установлено, что все пробы САЦ характеризуются высокой дисперсностью по сравнению с ПЦТ. Их удельная поверхность изменяется от 495 до 571 м²/кг и увеличивается с повышением класса прочности (табл. 2). САЦ характеризуются высокой водопотребностью, которая зависит не только от дисперсности, но и состава цемента. Сроки схватывания цементов значительно различаются. Цементы CSA 42,5 и новый CSA являются быстросхватывающимися, а CSA 82,5 и CSA 92,5 имеют длительные сроки схватывания, близкие к значениям ПЦТ.

Таблица 2

Результаты испытаний сульфоалюминатных цементов

	Предел прочности при сжатии, МПа, через сут. водного отверждения			Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, мин		Максимальная температура тепловыделения цементного камня, °С	Время тепловыделения, мин
	1	3	28			начало	конец		
CSA	58,2	60,4	79,0	507	31,0	9	11	82,5	29
CSA 42,5	40,3	44,9	47,4	495	35,4	15	23	81,0	73
CSA 52,5	37,9	58,1	64,7	544	32,3	30	50	79,0	81
CSA 72,5	25,5	44,6	64,5	540	42,2	33	121	75,0	595
CSA 82,5	28,9	59,0	103,2	524	35,4	120	≥ 270	29,7	503
CSA 92,5	39,6	60,8	83,5	571	35,4	120	≥ 300	61,0	1180
ПЦТ 1-G-CC-1	–	61,2	108,0	–	28,3	170	195	Не опред.	Не опред.

Известно, что при гидратации алюминатных цементов выделяется тепло, количество которого зависит от минералогического состава клинкера. Повышение температуры тем значительнее, чем крупнее бетонное изделие. Увеличение разогрева цементного камня может вызвать напряжения, ведущие к нарушению целостности его структуры. САЦ разных классов прочности имеют разную кинетику и величину тепловыделения. Так, с увеличением класса прочности цемента продолжительность тепловыделения повышается до 20 ч, но температура разогрева сульфоалюминатного камня изменяется от 29,7 до 82,5 °С. Наименьшим тепловыделением характеризуется CSA 82,5, наибольшим – новый CSA.

Изучена кинетика набора прочности цементного камня из САЦ. Установлено, что в зависимости от класса прочности они имеют разную скорость твердения. CSA 82,5, как и ПЦТ, характеризуются наименьшей скоростью твердения (предел прочности при сжатии через 3 сут. по отношению к 28 сут. составляет около 57 %). Наиболее быстротвердеющими являются CSA класса 52,5 и 62,5 (94,7 и 89,8 % соответственно). Наибольшую прочность через 3 сут. имеют

CSA 82,5 и 92,5, а также новый CSA, через 28 сут. – CSA 82,5, что согласуется с их классом прочности.

Для обоснования установленных закономерностей в дальнейшем планируется изучить фазовый состав САЦ разных классов прочности.

УДК 691.42

Ляпунова А. В., Макарова Е. С., Павлова И. А.
Уральский федеральный университет,
htko@yandex.ru

ОБЪЕМНО ОКРАШЕННЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ЛИЦЕВОЙ КИРПИЧ

Актуальной задачей современного производства строительных материалов является получение материалов, совмещающих конструкционные и декоративные функции, что позволит сократить расходы на облицовку стен зданий. В данной исследовательской работе определяется возможность получения объемно окрашенного лицевого кирпича с применением минеральных красителей на основе легкоплавких глин.

В качестве основного компонента использовали тюменскую глину со следующими характеристиками:

– представленная проба глинистого сырья является глиной монтмориллонового минерального состава, среднепластичная, с низким содержанием крупнозернистых включений и относится к низкодисперсному сырью;

– проба глины имеет в своем составе низкое содержание водорастворимых солей, низкое содержание карбонатных включений, низкое содержание (менее 1 %) крупнозернистых включений, тем более, что эти крупнозернистые включения представлены частицами размером 0,5–1 мм. Это позволяет сказать, что данная проба глины может использоваться в технологии лицевого кирпича;

– глина средне сохнущая, среднечувствительная к сушке, неспекающаяся, после обжига обладает высокой механической прочностью. Она обеспечивает получение морозостойкого (коэффициент морозостойкости бурой глины равен 0,81; это не более 0,85) лицевого кирпича с прочностью более 150 кгс/см² (марки 150 и выше) при пластическом способе формования.

По полученным данным можно сделать вывод, что на основе тюменской глины можно изготовить строительный керамический лицевой кирпич от марки М100 до М200. При введении красителей в состав массы можно получить объемно окрашенные изделия светлых и темных цветов. На настоящий момент изготовлены образцы с применением минеральных красителей. После обжига изделий будут определены свойства образцов и определена цветовая гамма возможных для реализации изделий.

АНАЛИЗ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ПИХТЫ КАВКАЗСКОЙ С ЦЕЛЮ КОРРЕКТИРОВКИ ОБЪЕМОВ РУБКИ

Выработка эффективной стратегии экологического управления лесами требует надежной информации об изменениях климата и индуцированных им изменениях функционирования экосистем за длительные интервалы времени. Необходима также разработка детальных региональных сценариев климатических изменений.

Для оценки масштаба современных изменений климата и связанного с этим преобразования экосистем, несомненно, полезными являются сведения об изменчивости условий среды в прошлом за длительные интервалы времени (столетия и тысячелетия) с высоким временным разрешением (годы, десятилетия) в различных ботанико-географических зонах, провинциях и районах. Важнейшим условием получения этих сведений является привязка происходивших в прошлом явлений и процессов к абсолютной (или астрономической) шкале времени, без чего невозможно сравнение полученных данных для разных объектов и территорий и установление пространственных и временных закономерностей изменений условий среды.

Одним из перспективных методов оценки климатических изменений является использование информации, содержащейся в годичных кольцах деревьев. В горах изменения климата сказываются на живых системах наиболее отчетливо. Здесь прирост деревьев должен быть более чувствителен к климатическим изменениям. Поэтому изучение изменчивости ширины годичных колец в высокогорьях – один из лучших способов изучения изменений климата в прошлом.

Целью данной работы являлось изучение особенностей радиального прироста пихты кавказской на верхней и нижней границах ее распространения в горах Абхазии.

Пояс темнохвойных лесов занимает около 4 % площади лесного фонда Кавказа. Распространены эти леса в основном в западной части северного макросклона Кавказских гор на высотах от 100 до 2000 м над уровнем моря. Главными лесообразующими породами здесь выступают пихта кавказская и ель восточная, встречаются также бук восточный и, как примесь, клен остролистный и высокогорный. В полосе темнохвойных лесов распространены как чистые, так и смешанные насаждения [1].

При анализе радиального прироста пихты и бука, произрастающих в смешанных лесах на Северо-Западном Кавказе, установлено, что синхронность изменения прироста деревьев пихты выше, чем у деревьев бука, что объясняется господствующим положением пихты в первом ярусе, и поэтому она более

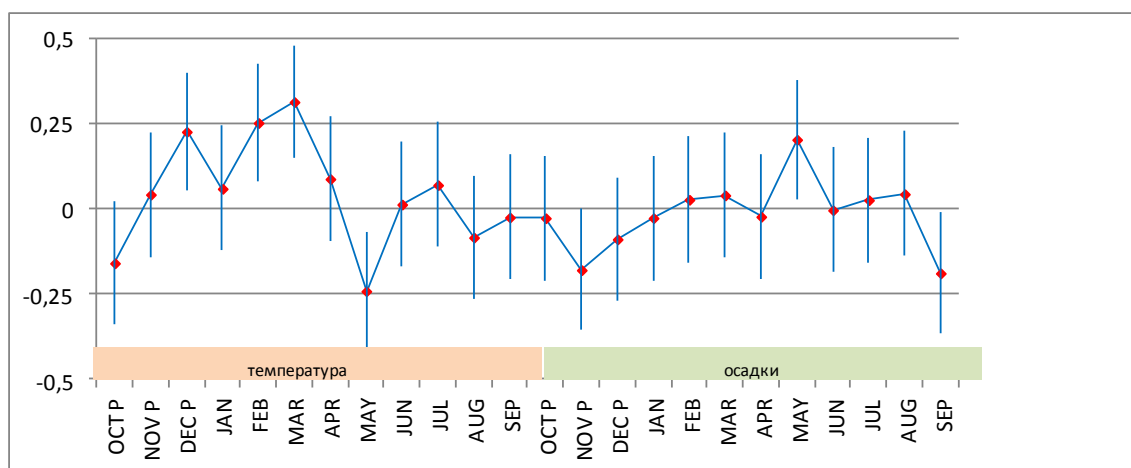
чутко реагирует на изменение климатических показателей [2]. Наличие среди пихтарников девственных лесов, не испытавших заметного антропогенного воздействия, позволяет с успехом использовать годичный радиальный прирост деревьев как природный регистратор естественной динамики условий среды.

Объектом исследования являлась ширина годичных колец пихты кавказской (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach) вблизи верхней границы леса на горе Мамзышха вблизи г. Гагра и на склоне той же горы в районе нижней границы распространения пихты.

В ходе исследования были получены данные по радиальному приросту пихты кавказской, выявлены различия в абсолютных значениях прироста и форме возрастной кривой на верхнем и нижнем пределе ее распространения в горах.

Были проанализированы обобщенные хронологии, построенные на основе индексированных рядов, подвергнутых выбеливанию (т. е. было устранено влияние прироста предыдущих лет на прирост текущего года). Критерием оценки надежности хронологии является расчет выраженного сигнала популяции EPS (expressed population signal), значение которого показывает, в какой степени реальная хронология отражает гипотетическую, представленную бесконечным количеством деревьев. При значениях $EPS \geq 0,85$ хронология считается достаточно представительной [3]. Полученные древесно-кольцевые хронологии можно считать надежными с 1870 г.

Анализ климатического отклика обобщенных хронологий проводился с помощью расчета коэффициентов корреляций между индексами прироста и ежемесячными значениями осадков и температуры воздуха за период, в течение которого возможно влияние климатических факторов на годичный радиальный прирост древесины. Анализ функций отклика (рисунок) показывает следующее. Во-первых, в полученных древесно-кольцевых хронологиях содержится климатический сигнал, в основном температуры зимних месяцев. Во-вторых, этот сигнал повторяется в обеих точках изученной территории. Связь генерализованной хронологии с зимними температурами оказалась чуть выше, чем на каждой точке в отдельности.



Климатические функции отклика для нижней границы леса

Прогнозы климатологов говорят о дальнейшем потеплении климата, в том числе и в районе проводимого нами исследования, в связи с увеличивающимися выбросами в атмосферу углекислого газа. Особенно высокие темпы роста прогнозируются для зимних температур. Кроме того, для данного района предполагается в будущем увеличение количества осадков. В случае, если эти прогнозы оправдаются, можно ожидать, что прирост пихты кавказской увеличится. По крайней мере, вблизи верхней границы леса. Что будет вблизи нижнего предела ее произрастания, судить трудно (рисунок), так как там возможно усиление конкуренции со стороны других древесных видов, что может привести к подъему нижней границы пихты.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности разработки прогноза климата и продуктивности лесных ценозов, а также корректировки объемов древесины, отводимой в промышленную рубку, в соответствии с долгосрочным прогнозом изменения климата и продуктивности лесов.

Список литературы

- 1 Экба Я. А., Рбар Р. С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. Сухум, 2007. 324 с.
- 2 Комин Г. Е. Дендрохронологические исследования на Северном Кавказе // Лесное хозяйство Северного Кавказа. Сочи, 2004. С. 55–65.
- 3 Тишин Д. В. Дендрэкология (методика древесно-кольцевого анализа). Казань : Казанский университет, 2011. 33 с.

УДК 621.74

Мешков А. А., Николаева Н. В., Агаповичев А. В.,
Вдовин Р. А., Балякин А. В., Смелов В. Г.
Самарский государственный аэрокосмический университет
им. акад. С. П. Королева, agapovichev5@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ВЫХОДНОГО КОЛЕНА МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

В результате практического использования достижений научно-технического прогресса, в технологии машиностроения все более четко формируются следующие основные направления развития [1]:

- повышение удельного веса непрерывных процессов производительности металлорежущего оборудования, значительное повышение точности на всех стадиях машиностроительного производства;
- ускорение внедрения комплексной механизации трудоемких работ и повышения уровня автоматизации процессов, усиление контроля за качеством обработки деталей, применение автоматических манипуляторов, внедрение гибких производственных систем;

– совершенствование структуры технологических процессов, заключающихся в замене трудоемкого труда обработки прогрессивными видами штамповки, проката и точного литья;

– снижение уровня удельной материалоемкости деталей, узлов и готовых изделий за счет повышения качественных характеристик конструкционных металлов.

Литейное производство является одной из важнейших отраслей машиностроения.

Для экономии материальных и временных ресурсов на проектирование, освоение и изготовление изделий перспективным является использование новых технологических процессов, как в заготовительном, так и в основном производстве.

Технология литья по выплавляемым моделям дает возможность изготавливать сложные тонкостенные конструкции, объединять различные детали в узлы, уменьшая массу и габариты изделий, создавать детали, не выполнимые другим методом обработки [2].

Но метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) занимает много времени ввиду технологических сложностей, связанных с получением точных мастер-моделей и заливкой восковых моделей.

Ускорение процесса литья по выплавляемым моделям должно повысить производительность процесса изготовления деталей, однако при этом нельзя допустить снижения геометрической точности получаемого изделия.

Лаборатория аддитивных технологий является подразделением центра коллективного пользования «Межкафедральный учебный научно-производственный центр САМ-технологий» (ЦКП «САМ-технологий»).

Установленное в лаборатории оборудование позволяет получать прототипы изделий, мастер-модели, высокоточные изделия по имеющимся 3D-моделям в минимальные сроки с высокими качественными характеристиками.

В нашем случае задача состояла в восстановлении детали методом литья по выплавляемым моделям. На детали присутствовал брак, образовавшийся в процессе механической обработки (рис. 1).

Для создания мастер-модели область, содержащая дефект, была заполнена пластилином (рис. 2).

Полученную мастер-модель использовали для изготовления эластичной формы из силиконового компаунда.

Применение силикона позволяет получать модели из воска и гипса любой сложности: с поднутрениями, со сложной поверхностью разъема, с различными вставками. Возможно воспроизведение сложных форм, мельчайших деталей [3].

Сначала производится подготовка мастер-модели путем формирования поверхностей разъема (рис. 3).

Затем создается формовочный короб для заливки силикона (рис. 4).



Рис. 1. Деталь с браком



Рис. 2. Мастер-модель детали

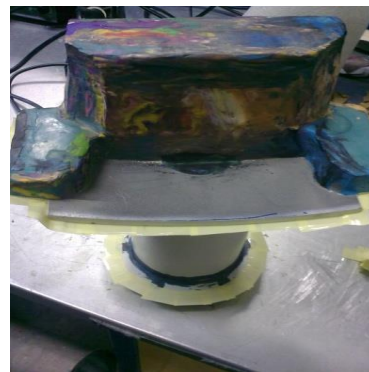


Рис. 3. Формирование поверхности разъема

Затем осуществляются смешивание и дегазация силикона. Для производства силиконовой формы нами используется силиконовый компаунд прозрачный марки LasilT с платиновым катализатором. Для получения качественной силиконовой формы, после смешивания компонентов, перед заливкой силикона необходимо провести его вакуумирование.

Выемка восковой модели из силиконовой формы представлена на рис. 5.

Для литья алюминиевых сплавов применяются формы, изготовленные из гипса.

После заливки металла гипсовая модель удаляется путем промывки ее в воде. После разрушения оболочки и очистки от остатков гипса получили готовую заготовку (рис. 6).



Рис. 4. Формовочный короб для заливки силикона



Рис. 5. Выемка восковой модели из силиконовой формы



Рис. 6. Отливка

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «САМ-технологий».

Список литературы

1. Кечин В. А., Селихов Г. Ф., Афонин А. Н. Проектирование и производство литых заготовок: учеб. пособие. Владимир : Владим. гос. ун-т, 2002. 228 с.
2. Балякин А. В., Смелов В. Г., Чемпинский Н. Д Применение аддитивных технологий для создания деталей камеры сгорания // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). 2012. № 3 (34). Ч. 2. С. 47–52.
3. Вдовин Р. А. 3D-виртуальное моделирование и оптимизация технологического процесса литья детали «завихритель II контура» ГТД с использованием компьютерных технологий // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). 2012. № 3 (34). Ч. 3. С. 115–120.

РЕГЕНЕРАЦИЯ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ГИДРОЛИЗА ШЕСТИВОДНОГО НИТРАТА МАГНИЯ

Окисленная никелевая руда (ОНР) Серовского месторождения относится к магнезиальным рудам и может рассматриваться в качестве сырья для получения оксида магния. Состав руды (масс. %): MgO – 34,1; NiO – 0,8–3; Fe_2O_3 – 14,8; SiO_2 – 42,7. Выщелачивание руды производили азотной кислотой.

Полученный после удаления кремнезема, железа, никеля и других сопутствующих элементов азотнокислый раствор упаривали до образования кристаллической массы состава $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, которую в дальнейшем подвергали термическому гидролизу.

Разложение нитрата магния в присутствии паров воды проводили в трубчатой печи (рис. 1) [1]. В печь помещали кварцевую трубку, в которую в дальнейшем вводили фарфоровую лодочку с нитратом магния. Температуру измеряли непосредственно в трубке над лодочкой с помощью хромель-алюмелевой термопары. Температуру поддерживали с помощью лабораторного трансформатора, колебания ее не превышали $\pm 5^\circ\text{C}$. Перегретый пар получали в колбе-парообразователе с последующим нагреванием его в змеевике из меди. Навеска образца составляла 7 г.

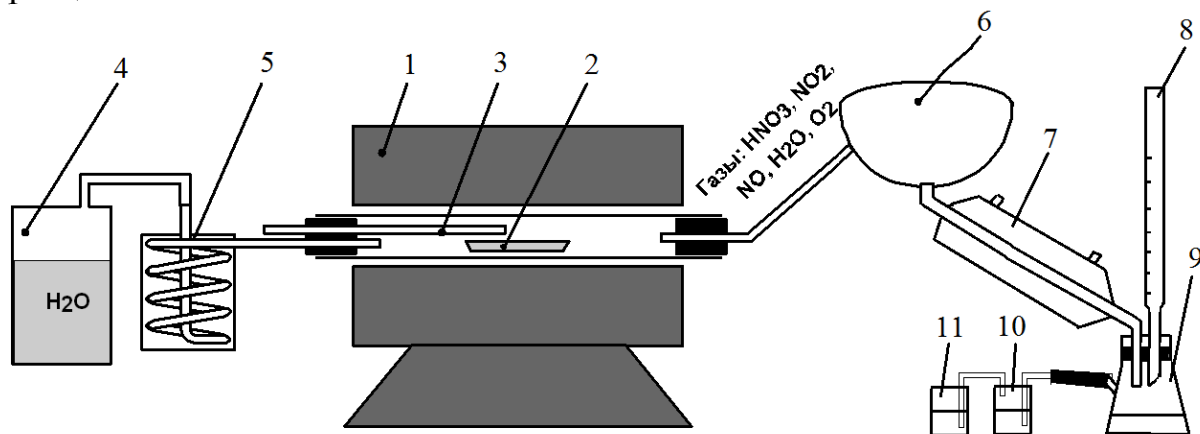


Рис. 1. Схема установки для изучения термического гидролиза $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:
 1 – печь; 2 – фарфоровая лодочка; 3 – термопара; 4 – парообразователь;
 5 – пароперегреватель; 6 – колба-ловушка; 7 – холодильник; 8 – бюретка; 9 – приемник;
 10, 11 – ловушки

Пар из парообразователя 4 направляли в пароперегреватель 5 и затем вводили в реакционную трубку муфельной печи 1. По мере продвижения пара по трубке к зоне реакции происходило его дополнительное нагревание до тем-

пературы опыта. Система нагревалась до необходимой температуры при установившемся потоке. Затем в трубку быстро вводили фарфоровую лодочку 2 с шестиводным нитратом магния. Одновременно увеличивали напряжение в печи. Благодаря тому, что стенки кварцевой трубки были предварительно нагреты, температура в реакционной зоне быстро выравнивалась, создавался равномерный нагрев образца при сохранении постоянной температуры в печи.

Выделяющиеся в процессе термического гидролиза азотная кислота, оксиды азота, кислород и пары воды направляли в колбу-ловушку 6, а затем в холодильник 7. При этом происходит конденсация азотной кислоты и паров воды. Наряду с этим имеет место парогазовый синтез азотной кислоты. Сконденсированная азотная кислота собиралась в приемнике 9, где периодически титровалась раствором щелочи из бюретки 8. Остаточные количества оксидов азота улавливались в ловушках 10, 11 растворами гидроксида натрия и перманганата калия. Скорость образования конденсата регулировалась количеством подаваемого пара и составила 1–2 мл/мин.

Скорость разложения нитрата магния контролировали по суммарному количеству выделяющихся азотной и азотистой кислот.

Изучение влияния температуры на степень разложения $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ свидетельствует о том, что с повышением температуры увеличивается степень разложения соли, составляя 88, 92, 94, 91, % при 320, 400, 460, 510 °C, соответственно (рис. 2).

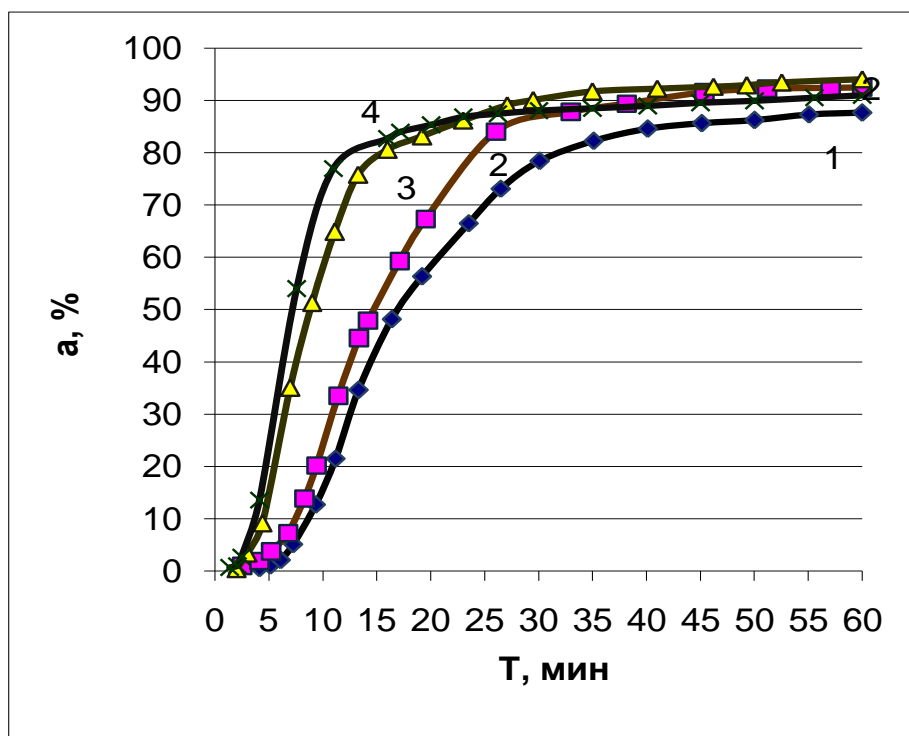


Рис. 2. Влияние температуры на степень разложения и изменение скорости реакции во времени при разных температурах проведения процесса разложения $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 1 – 320 °C; 2 – 400 °C; 3 – 460 °C; 4 – 510 °C

Установлено, что в процессе термического гидролиза нитрата магния в потоке перегретого пара выделяются азотная кислота – 92–94 %, азотистая кис-

лота – до 2 % и 2–6 % оксидов азота от общего количества уловленных газообразных продуктов распада.

Анализ влияния температуры на скорость реакции позволил сделать вывод, что с повышением температуры заметно возрастает скорость реакции (рис. 3).

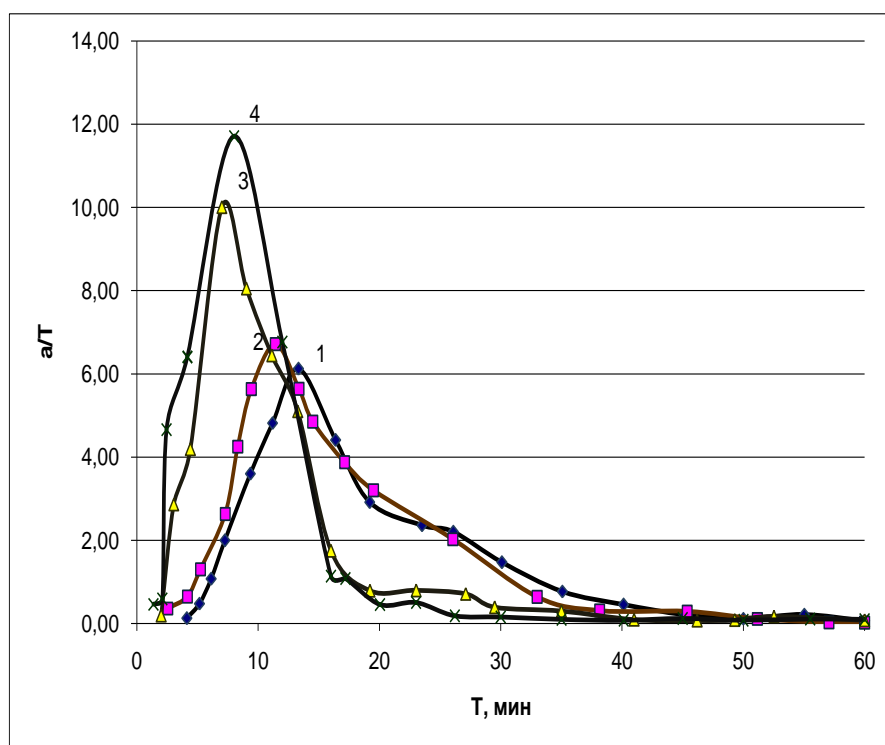


Рис. 3. Анализ влияния температуры на изменение скорости реакции во времени при разных температурах проведения процесса разложения $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:
1 – 320 °C; 2 – 400 °C; 3 – 460 °C; 4 – 510 °C

При этом значительно уменьшается время достижения максимальных значений, так, при 510 °C максимум скорости реакции достигается уже через 8 минут от начала процесса. Нарастание и спад скорости процесса разложения происходит очень резко. При температуре 350 °C скорость реакции увеличивается плавно, достигая максимума через 13–14 минут, затем наблюдается медленный ее спад. В процессе разложения $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ граница раздела двух фаз (твердой и газообразной), т. е. реакционная поверхность твердого вещества, уменьшается, так как уменьшается количество исходной соли. Это приводит к снижению скорости реакции [2].

Таким образом, проведенные исследования по термическому гидролизу шестиводного нитрата магния позволили провести регенерацию азотной кислоты и вернуть ее на стадию выщелачивания руды, что снижает материальные затраты на процесс комплексной переработки ОНР.

Список литературы

1. Вайтнер В. В. Исследование азотнокислотной переработки алюмосиликатов для получения оксида алюминия: дис. ... канд. хим. наук. Екатеринбург, 2004. 103 с.
2. Панченков Г. М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ. М. : Химия, 1985. 590 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В ЦИКЛЕ С ГТУ ДЛЯ ОБЖИГА СИДЕРИТОВЫХ РУД

На сегодняшний день объемы производства металлургической продукции, особенно стали, постоянно растут, что приводит к истощению запасов железной руды. Этот факт может стать серьезной проблемой для металлургического сектора. На территории России существует большое количество месторождений мало используемых железных руд, примером такой руды является сидеритовая руда.

Сидерит (FeCO_3) состоит из оксида железа FeO – 62 % (Fe – 48 %) и двуокиси углерода CO_2 – 37 %. Также в составе присутствуют примеси Mn и Mg , которые препятствуют широкому использованию руды в доменной плавке.

На данный момент обжиг руды производится в печах шахтного типа с использованием природного газа. Так как температура горения природного газа достигает 2000°C , а для технологического процесса обжига сидерита необходим меньший температурный уровень, сжигание газа ведут с большим избыточным количеством воздуха, что приводит к неэффективному применению теплоты сгорания природного газа.

Процесс обжига сидерита представлен на рис. 1.

Целью данной работы является исследование возможности использования углекислотной конверсии метана в цикле с ГТУ для экономии расхода природного газа и обжига сидеритовой руды.

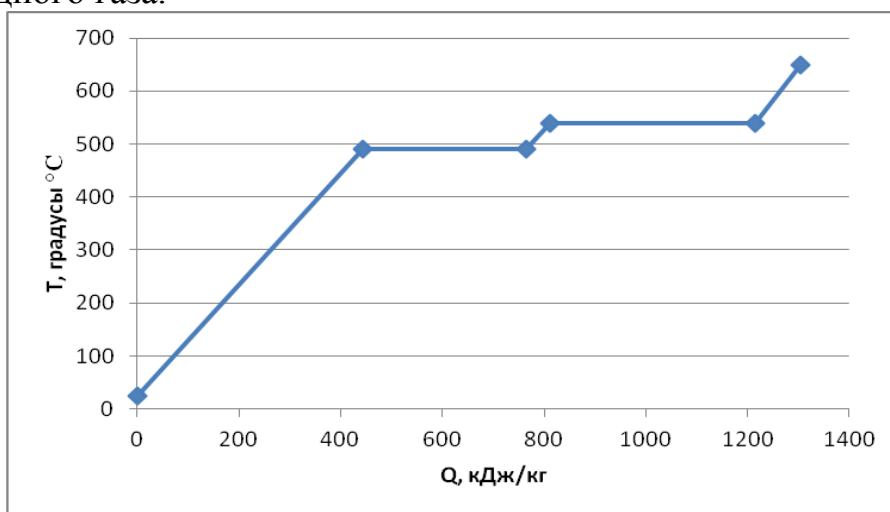
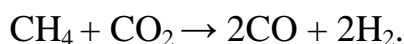


Рис. 1. Процесс обжига сидерита

При обжиге сидеритовой руды выделяется углекислый газ, который можно использовать для осуществления реакции углекислотной конверсии метана в синтез-газ [1]:



Теплопотребление реакции углекислотной конверсии составит 11039 кДж/м^3 .

В процессе расчетов был найден состав синтез-газа при 800°C и 1000°C , который представлен в таблице.

Состав синтез-газа

Вещество	Количество молей вещества	
	800 °C	1000 °C
H ₂	1,385	1,9
H ₂ O	0,112	0,024
CO	1,609	1,947
CO ₂	0,14	0,015
CH ₄	0,251	0,038

Из таблицы видно, что с увеличением температуры количество метана уменьшается, а количество компонентов синтез-газа (H₂ и CO) увеличивается. Количество остаточного метана (CH₄) в составе уменьшается с повышением температуры.

Теплотворная способность продуктов реакции 2CO+2H₂ (синтез-газ) составит 46,8 МДж/м³, в то время как у природного газа 35,8 МДж/м³ (на 31 % больше) [2].

Использование ГТУ на природном газе в подобной схеме уже рассматривалось [3]. В данной ситуации вместо природного газа предлагается использовать синтез-газ, предварительно уменьшив температурный уровень до рабочего.

На рис. 2 представлена схема обжига сидерита, которая может стать ключом к повышению энергообеспеченности и независимости предприятия от поставщиков электроэнергии.

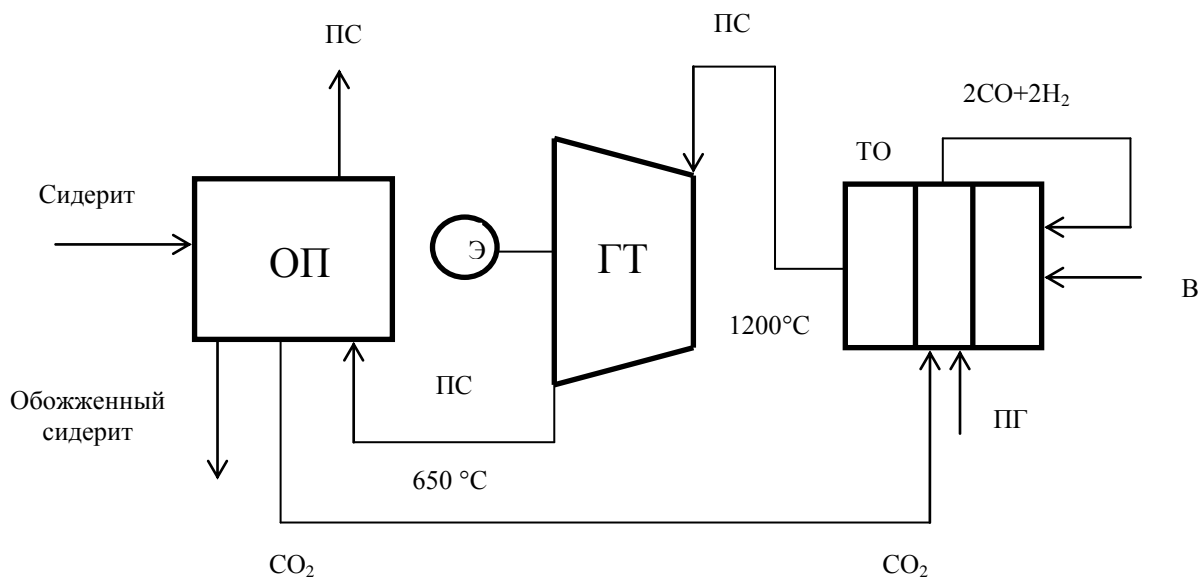


Рис. 2. Схема обжига сидерита в цикле с ГТУ:

ОП – обжиговая печь, ГТ – газовая турбина, ТО – трубчатый теплообменник,
ПГ – природный газ, В – воздух, ПС – продукты сгорания, Э – электрогенератор

В процессе расчетов предлагаемой схемы обжига сидеритовой руды была рассчитана экономия природного газа до 9 % [2]. Экономия природного газа

определялась из условия равенства температур продуктов сгорания на входе в ГТ при обычной схеме и при использовании углекислотной конверсии.

Таким образом, использование углекислотной конверсии в цикле с ГТУ позволит получить значительный энергетический эффект, сократить расход природного газа, а также использование ГТУ позволит вырабатывать электрическую энергию и производить обжиг сидерита.

Список литературы

1. Крылов О. В. Углекислотная конверсия метана в синтез-газ // Российский химический журнал. 2000. Т. 44. № 1. С. 19–33.
2. Мурзадеров А. В., Запарнюк М. Н., Исянгильдина Л. Х., Картавцев С. В. Использование углекислотной конверсии углеводородов в комплексе рудоперерабатывающего предприятия // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России. Магнитогорск : МГТУ, 2014. С. 81–83
3. Запарнюк М. Н., Нешпоренко Е. Г., Картавцев С. В. Интенсивное энергосбережение в системе рудоперерабатывающего предприятия // Энерго- и ресурсосбережение. Энергосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург : УрФУ, 2012. С. 76–78.

УДК 628.17

Мухина Е. А., Лущикова Е. О., Толкачева Л. Е.
Уральский федеральный университет,
sfkatyshev@mail.ru

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ВОДОПОДГОТОВКИ НА СРЕДНЕУРАЛЬСКОЙ ГРЭС

Химическая водоочистка на Среднеуральской ГРЭС (г. Среднеуральск Свердловской области) включает стадию предварительной очистки, где вода проходит обработку на осветлителях и механических фильтрах, и стадию ионного обмена на Н-ОН противоточных фильтрах по схеме двухступенчатого обессоливания. При анализе действующей схемы выявлено, что стадия ионного обмена достаточно модернизирована и работает по современной схеме противоточной регенерации. Однако стадия предварительной очистки является энергетически и экономически невыгодной. Вода проходит очистку на одиннадцати механических фильтрах с однослойной загрузкой. Такое количество оборудования требует значительных затрат на обслуживание, эксплуатацию и ремонт, а также большого количества энергии на перекачку воды. Кроме того, данные фильтры обладают низкой грязеемкостью, определяемой количеством загрязнений в килограммах, задержанных одним квадратным метром фильтрующей поверхности в течение фильтроцикла.

Целью работы явилось изыскание способа усовершенствования процесса водоподготовки на стадии механического фильтрования с экономией материальных, финансовых и энергетических ресурсов предприятия.

Установленные на Среднеуральской ГРЭС механические фильтры типа ФОВ-3,4-0,6 загружены антрацитом с гранулометрическим составом от 0,8 до 2,0 мм с толщиной слоя 1200 мм. Осветленная вода после фильтров имеет показатели: перманганатная окисляемость – от 5 до 8 мг $O_2/дм^3$, соединения железа – от 50 до 100 мкг/дм³ и алюминия – от 100 до 450 мкг/дм³.

Обзор литературы по существующим методам и оборудованию водоподготовки показал, что более высокие показатели имеют фильтры с двухслойной загрузкой. В них над слоем песка толщиной от 0,4 до 0,6 м насыпается слой измельченного антрацита или керамзита. В таком фильтре верхний слой, состоящий из более крупных зерен, задерживает основную массу загрязнений, а песчаный — их остаток, прошедший через верхний слой. Плотность антрацита меньше плотности песка, поэтому после промывки фильтра послойное расположение загрузки восстанавливается самостоятельно. Скорость фильтрации в двухслойном фильтре составляет от 10 до 12 м/ч, что в два раза больше, чем в однослойном, а общая грязеемкость – выше в три-четыре раза.

В качестве механических фильтров с двухслойной загрузкой предлагается установить типовые корпуса ионитных фильтров ФИПаI-3,0-0,6 отечественного производства. В них верхнее дренажно-распределительное устройство выполнено по типу «стакан в стакане», а нижнее – по типу «копирующего днища». На входных трубопроводах расположены ультразвуковые расходомеры для контроля очищенной воды за фильтроцикл. Обрабатываемая вода подается сверху вниз, а взрыхляющая промывка проводится снизу вверх, при этом загрязнения, накопленные фильтрующей загрузкой, отводятся через верхнее дренажно-распределительное устройство. В каждый фильтр загружаются послойно снизу вверх следующие материалы: подстилочный слой гравия для защиты нижнего распределительного устройства размером от 2 до 5 мм на высоту 0,3 м; кварцевый песок гранулометрического состава от 0,6 до 1,2 мм на высоту от 0,6 до 0,8 м и антрацит размером от 1,5 до 2,5 мм на высоту от 1,0 до 1,2 м. Выполненный расчет количества фильтров показал, что необходимо семь фильтров с двухслойной загрузкой, два из которых есть на складе предприятия.

Ориентировочно результат замены однослойных фильтров на двухслойные можно оценить с использованием опыта ОАО «Аммофос», на котором недействовавшие в схеме водоочистки ионитные фильтры были реконструированы в механические фильтры. При проведении опытно-промышленных испытаний были достигнуты следующие показатели осветленной воды: перманганатная окисляемость – от 3,5 до 5,0 мг $O_2/дм^3$, содержание железа – от 20 до 50 мкг/дм³ и алюминия – от 50 до 80 мкг/дм³. Таким образом, модернизированные механические фильтры обеспечили снижение окисляемости примерно на 80 %, уменьшение содержания железа и алюминия на 90 и 60 %, соответственно. Скорость фильтрования составила от 10 до 13 м/ч при производительности фильтра – от 70 до 90 м³/ч. Фильтроцикл фильтра составил от 6000 до 7000 м³. Установлено, что взрыхляющую промывку достаточно производить один раз в три-четыре дня. При этом перепад давления находится в пределах от 19,61 до 39,23 кПа. Отключение фильтров производится по проскоку железа и алюминия.

Примерно таких же результатов можно добиться и на Среднеуральской ГРЭС. Учитывая, что существующие механические фильтры ФОВ-3,4-0,6 имеют производительность от 55 до 60 м³/ч и взрыхляются один раз в сутки, то модернизированные ионитные фильтры с двухслойной загрузкой позволят увеличить грязеемкость в три-четыре раза. Это обусловит существенное снижение расхода воды на собственные нужды предприятия для взрыхления.

Таким образом, внедрение предлагаемых механических фильтров с использованием корпусов ионитных фильтров с двухслойной загрузкой позволяет уменьшить количество фильтров с 11 до 7, что снизит энергозатраты на перекачку воды примерно на 60 %; улучшить качество осветленной воды перед ионообменной установкой; повысить грязеемкость фильтров в три-четыре раза. Это приведет к увеличению количества очищенной воды за один фильтроцикл и к значительному снижению расхода воды на собственные нужды для очистки фильтров. Технико-экономические расчеты показали, что условно-годовая экономия составит 2,68 млн руб., окупаемость дополнительных капитальных вложений – 3,79 года.

УДК 691.42

Павловец А. Ю., Берсенева М. В., Павлова И. А.
Уральский федеральный университет,
htko@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Вовлечение в производство некондиционных сырьевых ресурсов является актуальной задачей современных производств. В данной работе исследованы свойства глинистого сырья с целью вовлечения его в производство строительного керамического кирпича.

Для исследований использовали глину Бочкарихинского месторождения. Минеральный состав глины был определен с помощью метода дифференциально-термического анализа, по результатам которого установлено, что в глине присутствуют следующие компоненты: монтмориллонит, каолинит и доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Для определения дисперсного состава глины использовали седиментационный анализ. По содержанию частиц менее 10 мкм (65,6 %) глина относится к среднедисперсному глинистому сырью.

Для определения крупнозернистых включений использовали ситовый метод. Исходя из полученных данных, сделали вывод, что по количеству крупнозернистых включений Бочкарихинская глина относится к сырью с высоким содержанием крупных включений.

Пластичность глин определяли двумя методами: с помощью балансирующего конуса и методом Пфедферкорна–Хаазе. По полученным данным глина относится к умеренно пластичным глинам с числом пластичности 14.

Глина бочкарихинская относится к плохо сохнущему высокочувствительному к сушке глинистому сырью.

Исследования отношения глин к спеканию показали, что из глины Бочкарихинского месторождения трудно получить образцы керамического строительного кирпича с требуемыми механическими показателями.

По полученным данным можно сделать вывод, что для производства керамического строительного кирпича с требуемой прочностью необходимо введение высокопластичной глины. Введение светложгущихся сортов глинистого сырья высокой пластичности позволит получить различные оттенки объемно окрашенного лицевого керамического кирпича, который пользуется спросом на современном рынке строительных материалов.

УДК 621.762

Патрушев А. В, Останина Т. Н.
Уральский федеральный университет,
a.b.darintseva@ustu.ru

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА ДИНАМИКУ РАЗВИТИЯ ДЕНДРИТНЫХ ОСАДКОВ ЦИНКА

В настоящее время для защиты стальных изделий от коррозии широко используется метод холодного цинкования. Цинкнаполненные краски представляют собой смесь порошка цинка и полимерного связующего. В качестве пигмента используют цинковую пыль, получаемую методом испарения-конденсации. Частицы порошка, полученные данным методом, имеют сферическую форму и средний размер 8 мкм. Обязательным условием реализации протекторного действия цинкнаполненных покрытий является электропроводность, которая возникает при введении в состав композитов большого количества пигмента. Замена частиц цинка сферической формы на чешуйчатые способствует повышению проводимости покрытий. Электролитические дендритные осадки цинка имеют более развитую поверхность, чем порошок, состоящий из частиц чешуйчатой формы.

В ходе совместных работ с ЗАО НПХ ВМП было установлено, что электролитические цинковые порошки, полученные из цинкатного электролита, характеризуются высокой маслосемкостью, поэтому их максимальное содержание в полистироле составляет 28 об. %, что значительно меньше, чем содержание сферических частиц (75,5 об. %). Сравнительные исследования показали, что использование дендритных порошков не оказало существенного влияния на электропроводность покрытий, однако коррозионно-защитные свойства несколько снизились.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния природы электролита на динамику роста и структурные свойства дендритных осадков цинка.

Дендритные осадки цинка получали из цинкатного (0,1 моль/л ZnO и 4 моль/л NaOH) и сульфатного (0,1 моль/л ZnSO₄, Na₂SO₄ – 0,7 моль/л, Al₂(SO₄)₃ – 0,05 моль/л) электролитов при постоянном токе, превышающем предельный диффузионный в 6,5 раз. В качестве катода использовали штырьковый цинковый электрод диаметром $d_0 = 1,6$ мм и высотой $H = 7$ мм. Поляризационные исследования проводили на потенциостате Solartron 1280C.

Установлено, что предельная плотность тока в цинкатном электролите немного выше (110 А/м²), чем в сульфатном (90 А/м²).

В процессе электролиза проводили видеозапись растущего осадка на цифровую камеру Sony DCR-SR 200E, что позволило определить изменение длины дендритов во времени (рис. 1). Кроме того, в процессе электроосаждения дендритов осуществляли сбор выделяющегося водорода. По объему выделившегося водорода рассчитывали выход по току водорода и цинка. Полученные значения выхода по току цинка использовали для расчета по закону Фарадея массы осадка в любой момент времени.

В качестве параметра, характеризующего структуру дендритных осадков, использовали приведенную плотность:

$$d_p = \frac{dm_{oc}}{dV_{oc}}. \quad (1)$$

Объем рассчитывали по величине длины дендритов (y) за вычетом объема исходного электрода:

$$V_{oc} = \frac{\pi(d_0 + 2y)^2}{4} H - \frac{\pi d_0^2}{4} H. \quad (2)$$

Зависимости длины дендритов от времени (рис. 1) с высокой точностью могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью следующего вида

$$y = y_0(1 - \exp(-\frac{t}{\tau})), \quad (3)$$

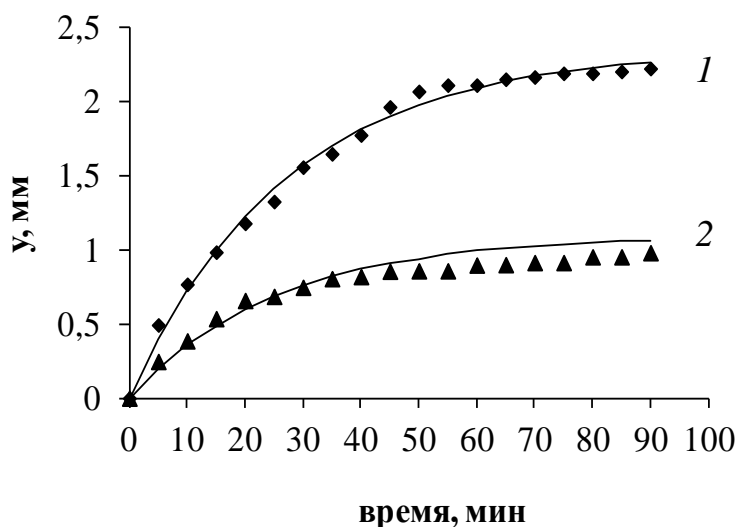


Рис. 1. Зависимость длины дендритов от времени: 1 – цинкатный электролит, 2 – сульфатный электролит (точки – экспериментальные данные, линия – аппроксимация по уравнению)

где y_0 и τ – эмпирические параметры, которые находили, минимизируя сумму квадратов отклонений экспериментальных значений y от расчетных.

В исследуемых условиях сопротивление процесса восстановления цинка связано в основном с диффузионными затруднениями. Интенсивный рост дендритов происходит в первые 30 минут (рис. 1), затем рост в длину прекращается. В цинкатном электролите скорость удлинения и конечная длина дендритного осадка были больше, чем в сульфатном. При этом время активного роста было примерно одинаковым.

В первый момент после включения постоянного тока происходит зарождение большого количества дендритов и их интенсивный рост. При этом плотность порошка минимальна. В процессе разрастания осадка плотность увеличивается (рис. 2).

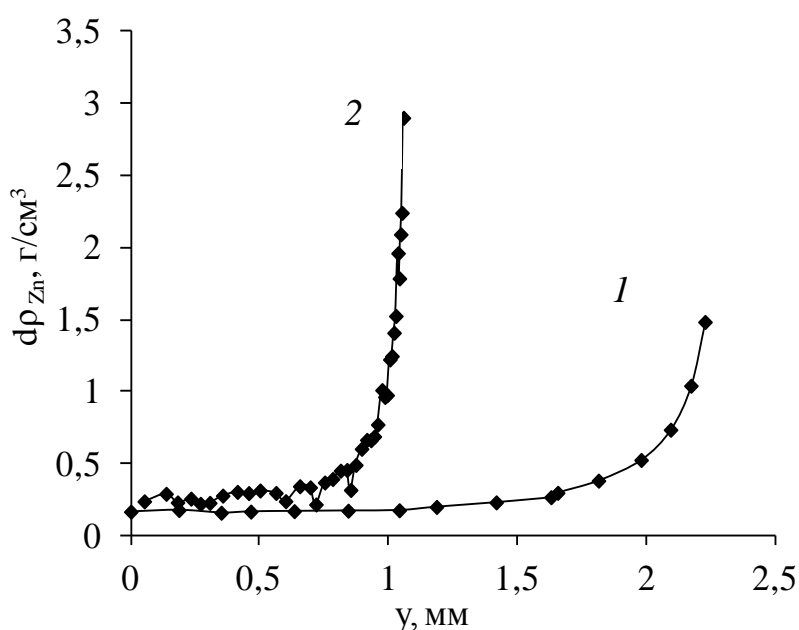


Рис. 2. Изменение дифференциальной плотности осадка цинка во времени:
1 – в цинкатном электролите, 2 – в сульфатном электролите

В момент окончания активного роста структура частиц осадка на фронте роста меняется и плотность резко возрастает. Плотность осадков, полученных из цинкатного электролита, была меньше, чем из сульфатного.

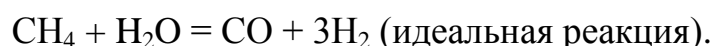
Из полученных результатов можно предположить, что при электроосаждении дендриты из сульфатного электролита кристаллизуются менее разветвленные, чем из цинкатного. Также можно предположить, что частицы в сульфатном электролите получают сферической формы. Использование таких частиц в качестве пигмента позволит предотвратить их активное растворение (вымывание), что улучшит защитные свойства и долговечность цинконаполненных композиционных покрытий. В настоящее время разрабатываются составы красок с использованием смесей цинкового порошка, полученных из разных электролитов и разными способами. Это позволит повысить коррозионную стойкость красок, при этом снизится расход цинка.

СБЕРЕЖЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

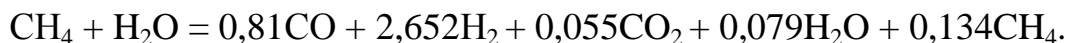
Недавние исследования показывают, что в последнее время добыча нефти, а вместе с ней и природного газа непрерывно растет без намека на снижение. Предполагается, что природный газ будет основным топливом в удовлетворении энергетических потребностей дальнейшего столетия [1, 2].

Российская промышленность для обеспечения технологических процессов энергией зачастую использует природный газ. Именно поэтому предприятия ищут пути снижения расхода данного энергетического источника, а также пытаются рационально использовать его. Одним из этих решений является регенерация безвозвратно теряемой теплоты, так как существует ряд установок, в которых температура дымовых газов около 1000 °С и выше.

Среди множества существующих эндотермических реакций была рассмотрена реакция паровой конверсии углеводородов, при этом природный газ смешивается с водяным паром и подвергается конверсии на температурном уровне около 800 °С. Выбор был сделан по ряду критериев, в частности по количеству получаемого водорода, теплоте реакции, ее температурному уровню, величине утилизируемого теплового потока и некоторым другим. Химическая регенерация позволяет достигать практически полной регенерации теплоты отходящих дымовых газов [3]. Химическая регенерация рассматривается на примере паровой конверсии природного газа, основным углеводородом которого является: CH_4 [4]:



Были произведены исследования идеальной реакции паровой конверсии по пятикомпонентной системе, которые показали, что реальная реакция выглядит следующим образом:



Эндотермический эффект этой реакции составляет: $\Delta H = 10617 \text{ кДж/м}^3$.

Как видно из реакции, при ТХР в реакторе паровой конверсии образуется не только CO и H_2 , но и CO_2 , H_2O , CH_4 .

В нагревательной металлургической печи температура отходящих дымовых газов составляет около 1000 °С, что позволяет произвести химическую регенерацию по схеме на рисунке.

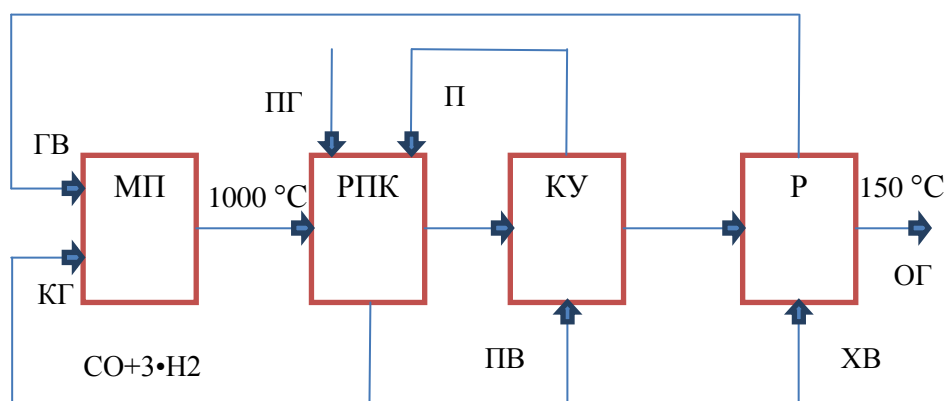


Схема методической печи с ТХР теплоты отходящих дымовых газов за счет паровой конверсии метана:

МП – методическая печь; РПК – реактор паровой конверсии; ПГ – природный газ; П – пар; ХВ – холодный воздух; ГВ – горячий воздух; КГ – конвертированный газ; ОГ – отходящие газы; Р – рекуператор; КУ – котел-утилизатор; ПВ – питательная вода

Энергосберегающая схема энергообеспечения методической печи включает в себя реактор паровой конверсии, котел-утилизатор и воздушный рекуператор. Пар из котла-утилизатора направляется в реактор паровой конверсии, куда также поступает природный газ. В методическую печь поступают подогретый воздух из рекуператора и конвертированный газ из реактора паровой конверсии, где сжигается. Эффект термохимической регенерации природного газа может достигать до 25 %. Данные по пароводяной конверсии природного газа взяты по [5].

Крупные предприятия по выпуску проката, например такие, как ОАО «ММК» ЛПЦ-10 выпускают ежегодно 5,5 млн т продукции с высокой энергоемкостью. На производство проката требуется природный газ в размере 57,7 м³/т, что за год составляет 317 млн м³. Но при использовании термохимической регенерации это значение может снизиться до 250 млн м³.

В результате расчетов установлено, что для сохранения теплового режима печи расход природного газа может быть уменьшен на 67 м³/т, что в денежном эквиваленте составляет 1,2 млрд руб. в год. А сэкономленные средства можно использовать для дальнейшей модернизации производства.

Список литературы

1. Birol F., Keppler J. IFA Weltprognose 1998 // Energiewirtschaftliche Tagesfragen. 1999. № 10. P. 651–657.
2. Kushnirov V., Yantovski E. Reappraisal of Global Oil Reserves // Oil Gas European Magazine. 1999. № 4. P. 8–12.
3. Полякова М. И., Мамбетова А. Г. Исследование возможностей химической регенерации для экономии топлива в нагревательных печах. Магнитогорск : МГТУ, 2010. С. 214.
4. Горбунёва Е. С., Понаморов М. М., Мурзадеров А. В. Энергосбережение природного газа в системе химической регенерации // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург : УрФУ, 2012. С. 249–252.
5. Картавцев С. В. Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА : монография. Магнитогорск : МГТУ, 2000. 188 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛА

Проблемы утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) имеют большое значение для экологии нашей страны, в частности для Республики Татарстан.

Попутный нефтяной газ – это газ, растворенный в нефти, он является сопутствующим продуктом при добыче нефти. ПНГ состоит из легких углеводородов. Это, прежде всего, метан – главный компонент природного газа, а также более тяжелые компоненты: этан, пропан, бутан и т. д.

ПНГ нужно отделять от нефти для того, чтобы она соответствовала требуемым стандартам. Он был для нефтяных компаний побочным продуктом, поэтому и проблему его утилизации решали просто – сжигали.

В России в результате сжигания газа в факелах ежегодно образуется почти 100 млн т CO_2 . Ежегодные экономические потери для России из-за сжигания ПНГ на факелах превышают 5 млрд долл.

Существуют следующие способы применения ПНГ:

- закачка в недра для повышения пластового давления и, тем самым, эффективности добычи нефти;
- использование на местах в качестве топлива для получения электроэнергии и тепла, идущих на нужды нефтепромыслов.

В связи с Постановлением № 7 от 8 января 2009 г., в котором сказано о доведении уровня утилизации попутного газа до 95 %, более эффективным будет применить его на собственные нужды. Учитывая, что ПНГ представляет собой эффективный энергоноситель, имеющий высокий уровень теплотворной способности, использование его в качестве топлива актуально.

Такой вариант использования ПНГ предлагается для производственных объектов на СП «Мамадыш» ОАО «Булгарнефть». Обеспечивая подготовку и утилизацию попутного газа, нефтедобывающая компания не только избегает штрафов за сжигание попутного газа, но и обеспечивает свою компанию качественным теплом, сохраняя при этом имидж социально-ответственной организации.

Данное решение заключается в строительстве котельной с установкой котлов, работающих на попутном нефтяном газе. Котлы для работы на ПНГ подбираются исходя из химического анализа топливной смеси. Особенностью ПНГ в Республике Татарстан является высокое содержание сероводорода ($0,0286 \text{ г/м}^3$). По условиям качества ПНГ подобраны котлы ОАО «Камбарский завод газового оборудования».

Таким образом, рациональное использование попутного нефтяного газа обеспечит значимый экономический и экологический эффект.

ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ЩЕБНЯ ИЗ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Комплексное использование отходов дробления горденблита на Первоуральском рудоуправлении до настоящего времени ограничивалось повышенным содержанием в отсевах дробления пылевых фракций материала.

Целью работы является разработка пневмоклассификатора для удаления пылевидных частиц размером менее 160 мкм из отходов дробления горных пород и получение строительного щебня фракции 5–10 мм. Конечное содержание фракции минус 160 мкм в готовом продукте – песках (0–5 мм) должно составлять не более 5 %.

Производительность линии по исходному питанию до 115 т/ч. В исходном материале содержание фракций менее 160 мкм составляет 15–20 %.

Для того чтобы при обогащении получились минимальные отходы и максимальный выход готового продукта, следует определить оптимальные режимные параметры процесса. Оптимальными режимными параметрами принимаются: размер граничного зерна (граница разделения x_{50} , мм); расходная концентрация материала μ (кг/м³), определяемая как отношение расхода исходного материала в классификатор (кг/ч) к расходу воздуха через аппарат (м³/ч); соответствующая им скорость воздушного потока ($w_{\text{опт}}$, м/с) через пневмоклассификатор и выход готового продукта ($\gamma_{\text{кр. опт}}$, %), обеспечивающие минимальные отходы и удовлетворяющие заданным требованиям.

Более всего для решения поставленной задачи подходит поперечно-поточный классификатор с наклонной жалюзийной решеткой (рис. 1).

Исходный продукт из бункера 1 поступает в верхнюю часть жалюзийной решетки, набранной из ряда плоских параллельных пластин. Проходящий сквозь зазоры между пластинами воздушный поток провеивает пересыпающийся по решетке 2 полидисперсный материал. Мелкие фракции увлекаются потоком в патрубок 4 и осаждаются в дальнейшем в пылеулавливающих устройствах. Обеспыленные крупные зерна попадают в бункер 3. Для снижения пыленатрузки на циклоны часть мелкого (среднего) продукта улавливается в пылеосадительной камере.

При проведении испытаний визуально определен большой отскок крупных зерен от решетки классификатора и чрезмерное пылевыделение над жалюзийными пластинами. При этом на пластинах жалюзи обнаружилось налипание пылевых частиц.

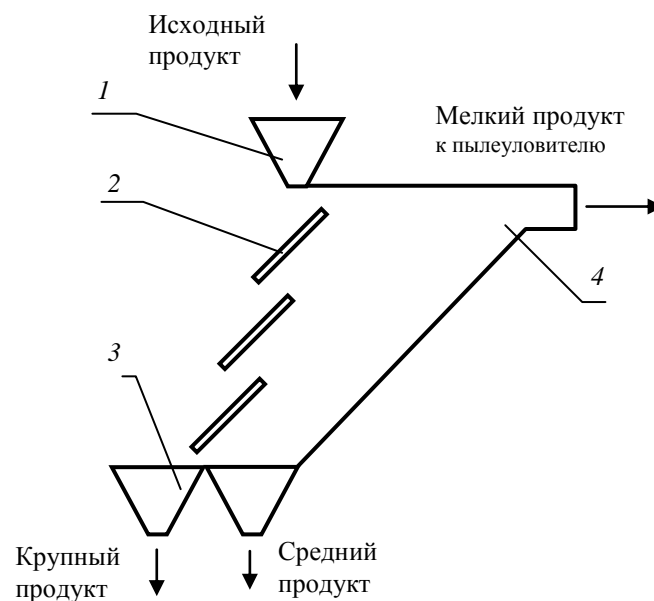


Рис. 1. Схема поперечно-поточного классификатора:
 1 – бункер исходного продукта; 2 – наклонная жалюзийная решетка;
 3 – бункер крупного продукта; 4 – патрубок пылевоздушной смеси

Для уменьшения пыления был разработан и установлен кожух над жалюзийной решеткой с открытой нижней частью, причем площадь открытого сечения в нижней части кожуха равнялась общей площади щелей, образованных пластинами решетки.

При одних и тех же технологических параметрах модернизация классификатора привела к уменьшению выхода крупного продукта с 75 до 72 %, то есть интенсифицировался процесс удаления пылевых частиц. При этом острота сепарации по критерию Эдера – Майера возросла с 53 до 57 %.

Следующая серия экспериментов была проведена с целью изучения влияния скорости воздушного потока на выход и содержание пылевых фракций в крупном обеспыленном материале. При этом рассматривалось два варианта получения готового продукта. В первом варианте средний продукт в осадительной камере смешивался с мелким материалом из бункера циклона, во втором средний продукт смешивался с крупным обеспыленным материалом.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

Как видно из результатов испытаний, для получения готового продукта с загрязнением фракцией менее 0,16 мм не более 5 % при объединении мелкого и среднего продуктов требуемая скорость воздушного потока составляет 0,88 м/с, при этом выход готового продукта 72 %. Для получения продукта с содержанием $D_{0,16} < 5 \%$ при объединении среднего и крупного продуктов скорость потока необходимо увеличить до 1,18 м/с, при этом выход готового материала составит 76 %.

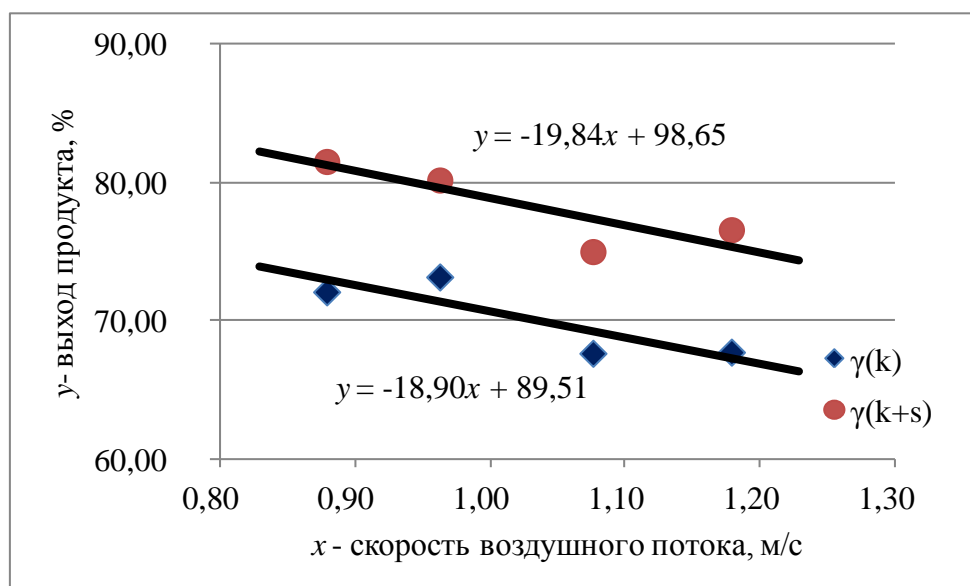


Рис. 2. Зависимость выхода крупного или суммы крупного и среднего продукта от скорости воздушного потока

Кроме того, при такой организации процесса для разгрузки промежуточного продукта из осадительной камеры не потребуется герметичный питатель. В модернизированной осадительной камере можно предусмотреть щелевое отверстие для разгрузки промежуточного продукта, площадь сечения которого должна обеспечить скорость потока в щели равной скорости в зазорах жалюзийной решетки.

Проведенные конструкторские расчеты показали, что при заданной производительности 115 т/ч размеры жалюзийной решетки составят 1000×3500 мм, а энергозатраты на тонну переработанного продукта – менее 1 кВт/т.

В заключение можно сказать, что проведенные исследования еще раз показали возможность эффективного применения воздушной пневмосепарации для получения качественных сыпучих продуктов из отходов переработки горных пород.

УДК 662.74

Сергеева А. А., Гордеева И. С., Нгуен К. З., Картавец С. В.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
Atomic_kitten_zr@mail.ru, 5otl@mail.ru, Kartavzw@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА РАСКАЛЕННОГО КОКСА В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Черная металлургия – важнейшая отрасль народного хозяйства, которая потребляет большое количество топливно-энергетических ресурсов, в частности в ее составных частях: коксохимическом и агломерационном производствах. Учитывая, что металлургические предприятия работают в едином комплексе с коксохимическими заводами, утилизация тепла продуктов коксования

также оказывает существенное влияние на топливно-энергетический баланс черной металлургии [1].

Предлагается направить теплоту кокса в процессе сухого тушения кокса на нагрев высокотемпературного сыпучего материала, в частности карбоната кальция (CaCO_3).

Данная работа посвящена исследованию времени нагрева кусочка известняка за счет теплоты раскаленного кокса с целью получения добавок для агломерации, а именно получения извести.

В процессе выдачи кокса из коксовой печи раскаленный кокс смешивается с мелким известняком (< 10 мм) в специальном смесительном устройстве – установке сухого тушения кокса (УСТК).

В качестве модели рассмотрен кусочек известняка сферической формы, диаметром 10 мм.

Было рассчитано время, за которое этот кусочек нагреется от 0°C до температуры разложения ($850\text{--}900^\circ\text{C}$) [2]. Кокс, засыпаемый в УСТК, имеет начальную температуру 1200°C .

В начальный момент времени все точки кусочка известняка с радиусом 5 мм имеют одинаковую температуру. При заданных условиях, температура для любой точки шара будет функцией только времени и радиуса. Следовательно, время нагрева известняка определяется с учетом критериев подобия Био (Bi) и Фурье (Fo) и напрямую зависит от его размеров [3].

Результаты расчетов представлены в таблице.

Длительность нагрева кусочков известняка

Радиус известняка r , мм	Время нагрева τ , с
1	0,8
2	3
3	6,9
4	12,2
5	19

Из расчетов видно, что с увеличением радиуса кусочка известняка время нагрева увеличивается. Так чтобы нагреть CaCO_3 диаметром 10 мм до температуры разложения, потребуется 19 с.

Так как получение извести на сегодняшний день очень энергоемкое и энергозатратное производство, то возможным и целесообразным является пустить тепло потушенного кокса на нагрев сыпучего высокотемпературного материала, в частном случае – CaCO_3 , с целью получения извести, с последующим его применением в агломерационном производстве, о чем свидетельствуют проведенные расчеты.

Список литературы

1. Теплотехнические расчеты установок силикатной промышленности / Гинзбург Д. Б. [и др.]. М. : Промстройиздат, 1951.
2. Металлургия чугуна : учебник для вузов / Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев [и др.]; под ред. Е. Ф. Вегмана. 3-е изд., перераб. и доп. М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.
3. Исаченко В. П., Осипов В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1981. С. 89.

УДК 691.43

Скворцова Е. В., Сидорова О. В., Павлова И. А.
Уральский федеральный университет,
htko@yandex.ru

ЛЕГКОПЛАВКИЕ ГЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В данной работе исследовали свойства глинистого сырья Байновского месторождения для последующего его применения в производстве керамических материалов. Применение легкоплавких глин в производстве керамических плиток, майолики, в пропантах и др. позволит заменить часть дорогостоящего сырья на более дешевое, что приведет к снижению затрат на приобретение ресурсов.

Исследованиями установлено, что глина является низкодисперсным сырьем с содержанием частиц менее 10 мкм 46,4 мас. %, относится к сырью с мелкими включениями, умеренно пластичная с числом пластичности 13. Это среднечувствительная к сушке и среднесохнувшая глина (воздушная усадка составила 10,5 %). По минеральному составу глина относится к монтмориллонитовым (по данным РФА обнаружен минерал нонтронит – железистая разновидность монтмориллонита) с примесью известняка и доломита. При обжиге глины в интервале температур от 850 до 950 °С глина спекается до водопоглощения 12–11 %, кажущаяся плотность составляет 2,04–2,05 г/см³.

Предположительно данная глина может быть использована для производства пропантов после тонкого измельчения, гранулирования и обжига. Пропанты – гранулированные алюмосиликатные порошки, предназначенные для интенсификации добычи нефти способом гидравлического разрыва пласта (ГРП). По внешнему виду пропанты – серый песок, гранулы которого размером с крупное маковое зерно. Каждая гранула – это элементарное керамическое изделие, полученное путем высокотемпературного обжига специального фракционированного глинозема. При этом гранулы приобретают высокую механическую прочность: один квадратный сантиметр этого песка удерживает, не разрушаясь, до 8 тонн груза.

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЛА КВ-ТС-1,5 С МОНТАЖОМ ВОДОГРЕЙНОГО КОНТУРА

В целях экономии денежных расходов на топливо и повышения КПД котла было предложено произвести реконструкцию конвективной шахты на водогрейный котел КВ-ТС-1,5 (рис. 1, 2).

Водогрейный котел КВ-ТС-1,5 предназначен для получения горячей воды температурой 95 °С, используемой в системах отопления, горячего водоснабжения промышленного и бытового назначения. Относится к низкотемпературным котлам (до 115 °С).

Начальный КПД котла составляет 63 %. Для увеличения КПД необходимо увеличить конвективную поверхность нагрева. Это приведет к уменьшению температуры уходящих газов и снижению расхода топлива [1, 2].

При реконструкции котла необходимо выполнить следующие работы:

- демонтировать боковые панели газохода I и II;
- установить 4 конвективных пакета газохода I и II;
- выполнить перемычку между газоходом III и IV.

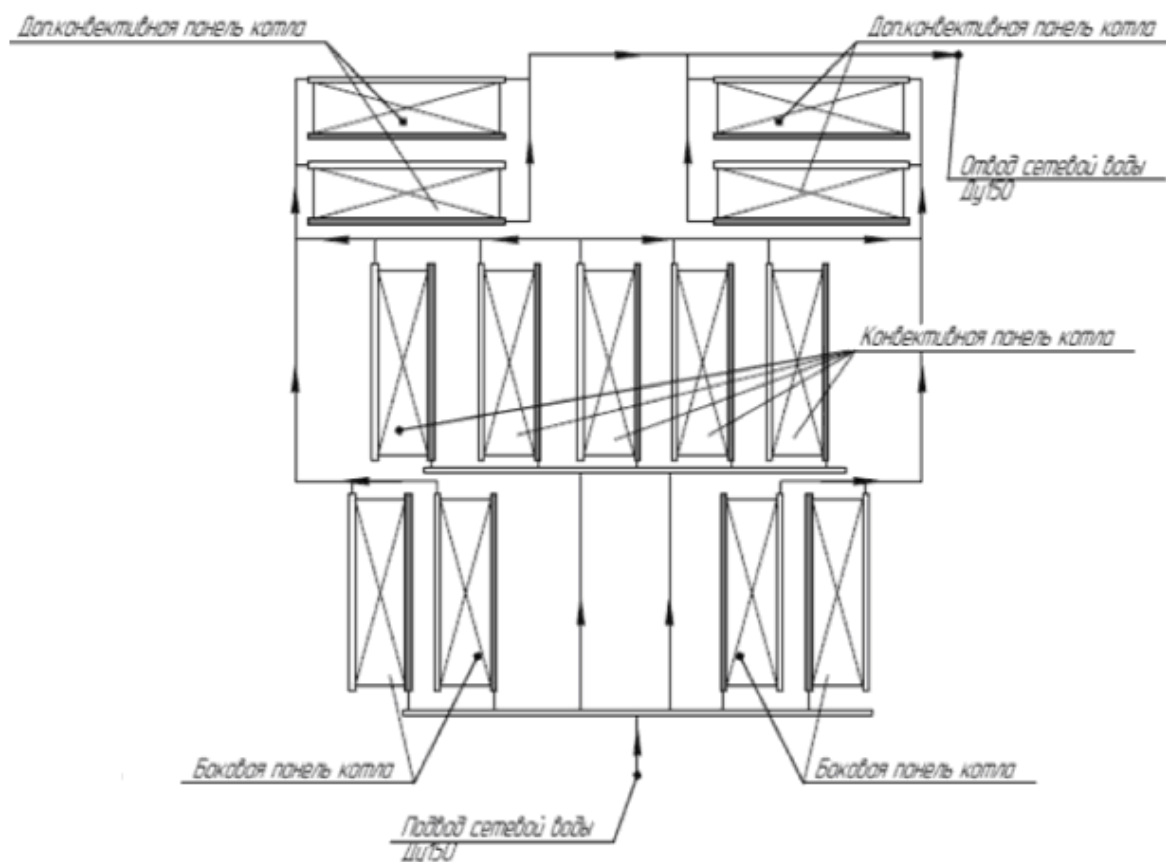


Рис. 1. Схема циркуляции котла КВ-ТС-1,5

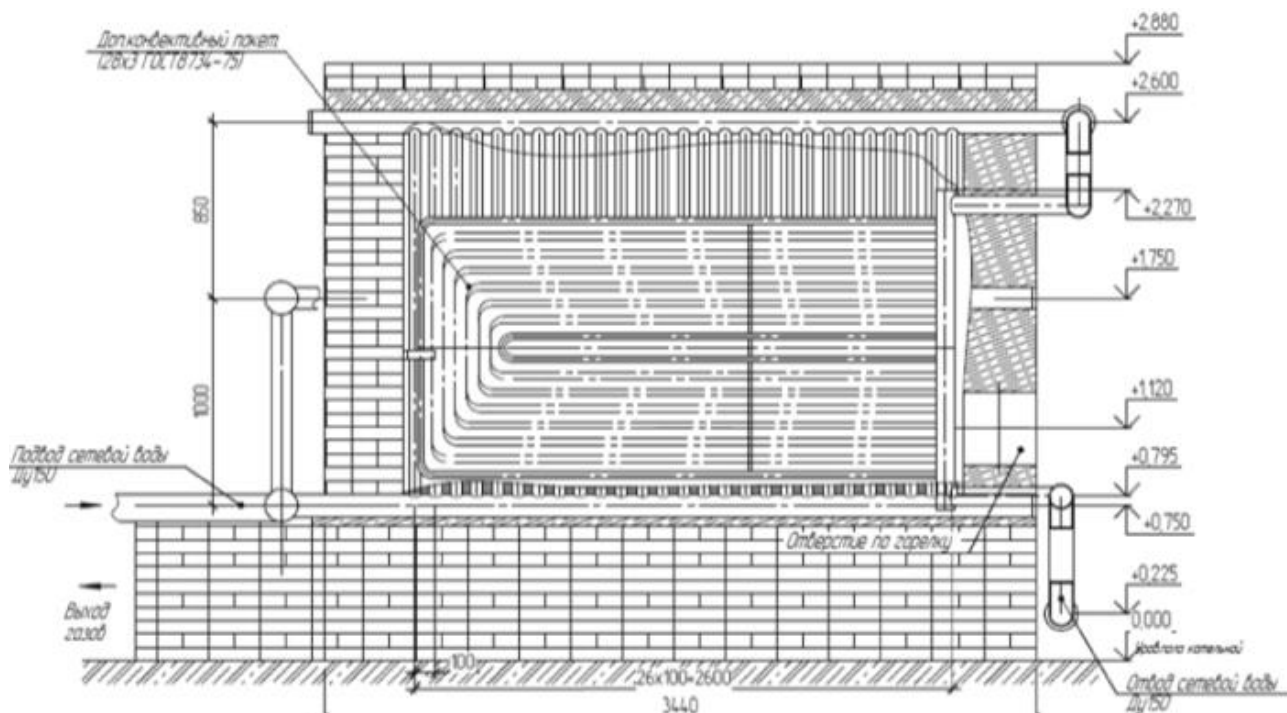


Рис. 2. Схема конвективной шахты (в разрезе)

Расчетная формула КПД котла:

$$\eta = 100 - \sum q_{yx} = 100 - \frac{360}{9,72973} = 63 \%,$$

где η – КПД котла, %;

$\sum q_{yx} = 360 / 9,72973 = 37 \%$ – сумма тепловых потерь;

где $t_{yx} = 360 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура уходящих газов.

После реконструкции конвективной шахты уменьшится температура уходящих газов до $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\eta = 100 - \sum q_{yx} = 100 - \frac{160}{11,32343} = 85,87 \%,$$

где η – КПД котла, %;

$\sum q_{yx} = 160 / 11,32343 = 14,13 \%$ – сумма тепловых потерь;

где $t_{yx} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура уходящих газов.

Также при уменьшении температуры уходящих газов получим меньший расход топлива (мазута) [3, 4].

Исходный состав жидкого топлива (мазута): зольность – 0,05 %; сера – 0,8 %; углерод – 85,71 %; водород – 11,45 %; азот – 0,25 %; кислород – 0,25 %.

Расчетная формула полного расхода топлива:

$$B = \frac{Q_k - 100}{Q_{np} \cdot \eta} = \frac{1744,5 \cdot 100}{9443,91 \cdot 63} \cdot 3,6 = 1,0556 \text{ т/ч.}$$

$$B = \frac{Q_k - 100}{Q_{np} \cdot \eta} = \frac{1744,5 \cdot 100}{9443,91 \cdot 85,87} \cdot 3,6 = 0,7745 \text{ т/ч.}$$

Соответственно снижение температуры уходящих газов котла с 360 °С до 160 °С привело к увеличению его КПД на 22,87 % и сокращению расхода топлива на 26,6 %.

Исходя из этих расчетов, становится ясно, что затраты на приобретение мазута значительно сократятся.

При КПД котла 63 % месячный расход топлива составляет 760,032 т. После реконструкции котла (КПД = 85,87 %) месячный расход мазута уменьшается на 26,6 %, что составляет 557,64 т.

Суммарные затраты на мазут в отопительный сезон равняются 17,4 млн руб. и 12,8 млн руб. при КПД котла 63 % и 85,87 %, соответственно. Отсюда видно, что экономия затрат на топливо составит 4,65 млн руб.

Следовательно, реконструкция котла КВ-ТС-1,5 с монтажом водогрейного контура будет выгодна для производства, так как затраты на реконструкцию, составляющие приблизительно 30 тыс. руб., окупятся примерно в течение одного дня.

Список литературы

1. Тепловой расчет котельных агрегатов: нормативный метод. СПб. : НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
2. Котельные агрегаты : учебник / М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. М.;Л.: Госэнергоиздат, 1959. 488 с.
3. Щеголев М. М. Топливо, топki и котельные установки. М. : Гос. изд-во лит. по архитектуре и строительству, 1953. 544 с.
4. Либерман Н. Б., Нянкoвская М. Т. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения: общие вопросы проектирования и основное оборудование. М. : Энергия, 1979. 224 с.

УДК 621.928.8

Талипов Р. Ф., Якушев Н. С., Назаров С. Л.
Уральский федеральный университет,
nikitoz8@rambler.ru

ЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Одной из актуальных технологических задач, решаемых с помощью электродинамической сепарации, является сортировка лома и отходов электро- и радиотехники. Эта группа отходов является наиболее быстро растущей составляющей твердых отходов, содержащих цветные металлы [1–2]. В то же время в таких отходах, помимо цветных металлов (преимущественно медные и алюминиевые сплавы), содержится значительное количество благородных металлов (золото, серебро, платина), что повышает значимость их переработки. Для повышения эколого-экономических показателей такой переработки актуально совершенствование технологий и технологического оборудования.

На кафедре «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ выполняются исследования процессов получения из дробленого электронного лома селективных металлических концентратов с помощью электродинамической сепарации. В частности, показана возможность выделения алюминиевых сплавов из многокомпонентной смеси, полученной после сортировки дробленого лома по крупности и удаления ферромагнитных включений [3]. Отделение при сепарации алюминиевых сплавов и изоляционных материалов позволяет существенно повысить содержание медных сплавов в коллективном концентрате и снизить затраты на их дальнейшую обработку гидрометаллургическими методами с целью извлечения благородных металлов. Полученный селективный концентрат алюминиевых сплавов также становится при этом высококачественным вторичным сырьем. Описанная в [3] установка электродинамической сепарации на основе двухстороннего линейного индуктора, питаемого от стандартной сети с частотой 50 Гц, позволяет обрабатывать фракции дробленого электронного лома крупностью 10–20 мм. В то же время постоянное уменьшение размеров электронных компонентов требует создания электродинамических сепараторов для обработки фракций с крупностью менее 10 мм. Разработка и исследование таких сепараторов составили задачи данной исследовательской работы.

Оценка путей повышения эффективности электродинамической сепарации показывает, что при малой крупности обрабатываемых материалов целесообразно использование магнитного поля повышенной частоты. Например, на рис. 1 показаны расчетные зависимости удельного электромагнитного усилия (отношение усилия к массе извлекаемой частицы $F_m = F/m$ [Н/кг или м/с²]) от частоты бегущего магнитного поля для частиц алюминиевых сплавов с размерами 5×5×5 мм, полученные для одной из опытных установок на основе трехфазного линейного индуктора. Основные параметры установки: полюсное деление индуктора – 58 мм; максимальная индукция поля в месте расположения пластин – 0,14 Тл; частота бегущего магнитного поля – 50 Гц.

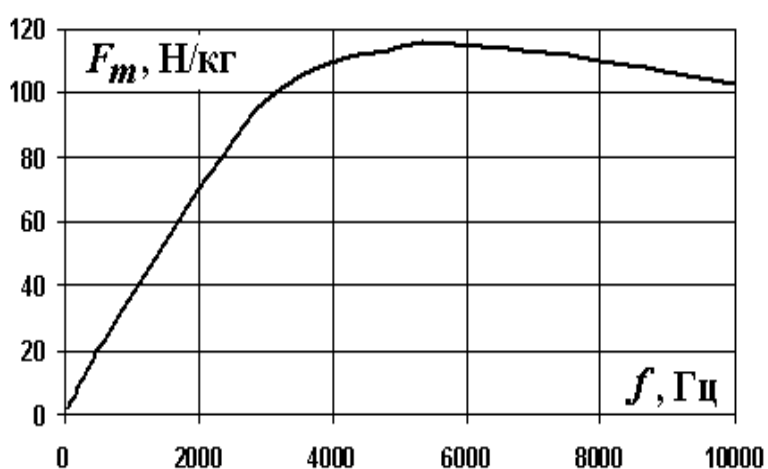


Рис. 1. Зависимость удельного электромагнитного усилия сепаратора от частоты магнитного поля

Как показывают расчеты, на частоте 50 Гц такой сепаратор сообщает проводящей частице удельное усилие около 2 Н/кг, которого недостаточно для преодоления сил сопротивления и извлечения частиц из потока отходов. Нетрудно видеть, что существенное увеличение усилия достигается при увеличении частоты до нескольких сотен герц, а в перспективе – до нескольких килогерц.

Для получения указанных частот в случае линейного индуктора требуется преобразователь частоты. Это существенно удорожает установку. К тому же в магнитопроводе индуктора с повышением частоты резко растут потери, что приводит к увеличению потребляемой мощности и ухудшению теплового состояния индуктора. Наиболее целесообразно получение бегущего магнитного поля повышенной частоты с помощью вращающихся индукторов на основе постоянных магнитов. В этом случае для возбуждения магнитного поля не требуется потребление электроэнергии, а частота магнитного поля регулируется скоростью вращения приводного двигателя. Потери энергии в магнитопроводе минимальны, поскольку по нему проходит преимущественно магнитный поток, неизменный во времени.

При участии авторов в лаборатории кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» создан электродинамический сепаратор с вращающимся индуктором на базе постоянных магнитов. Индуктор сепаратора имеет диаметр 110 мм и содержит 10 полюсов. При этом удается получать магнитное поле с частотами до 500–600 Гц. Общий вид созданного сепаратора показан на рис. 2.

Экспериментальное исследование характеристик сепаратора требует дополнительной подготовки методики эксперимента и соответствующей измерительной аппаратуры, поэтому на первом этапе выполнены расчеты исследуемого сепаратора по двум методикам, разработанным на кафедре «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ [4–5]. Результаты расчетов зависимостей удельного электромагнитного усилия от частоты бегущего магнитного поля показаны на рис. 3. Разный тип линий соответствует разным методикам расчета. Несмотря на некоторое расхождение расчетных кривых, наблюдаемое с увеличением размеров проводящих частиц, в целом результаты расчетов свидетельствуют о возможности достижения требуемых для сепарации удельных электромагнитных усилий.

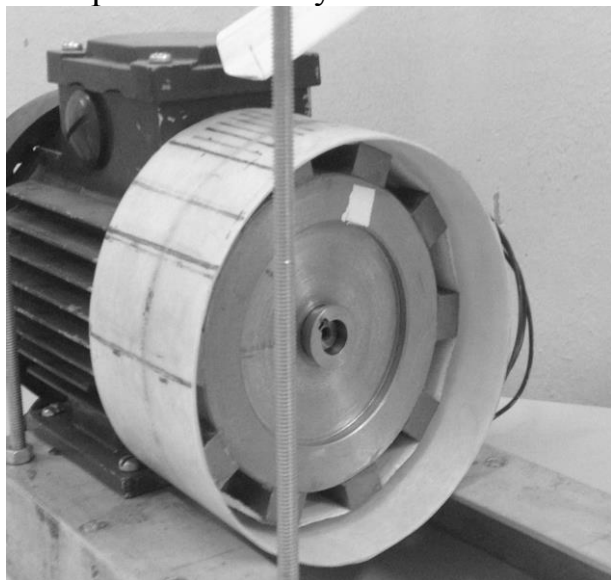


Рис. 2. Рабочая модель сепаратора с вращающимся индуктором

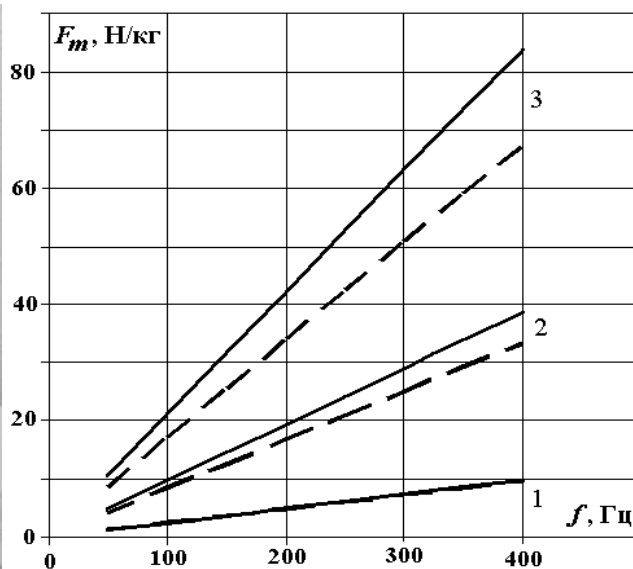


Рис. 3. Расчетные характеристики сепаратора при крупности алюминиевых частиц 5; 10 и 15 мм (обозначены цифрами 1, 2 и 3 соответственно)

Таким образом, полученные результаты позволяют рассматривать созданный электродинамический сепаратор как основу для разработки установок для эффективной сепарации измельченного электронного лома.

Список литературы

1. Медведев А., Арсентьев С. Утилизация продуктов производства электроники // Компоненты и технологии. 2008. № 10. С. 153–159.
2. Дистанов А. А., Воскобойников В. В. Комплекс для переработки радиоэлектронного лома // Твердые бытовые отходы. 2012. № 5. С. 3–7.
3. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов / А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров, Р. О. Казанцев, Н. С. Якушев, В. В. Воскобойников, А. А. Дистанов // Твердые бытовые отходы. 2014. № 2. С. 26–30.
4. Коняев А. Ю., Назаров С. Л. Исследования характеристик электродинамических сепараторов на основе двумерной модели // Электротехника. 1998. № 5. С. 52–57.
5. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А. Ю. Коняев, И. А. Коняев, Н. Е. Маркин, С. Л. Назаров. Екатеринбург : УрФУ, 2012. 104 с.

УДК 66.045.1

Утюмова А. С., Катышев С. Ф.
Уральский федеральный университет,
s.f.katyshev@urfu.ru

ЗАМЕНА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА НА ТЕПЛООБМЕННИК ФИРМЫ LOTUS В ЦЕХЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОНОХРОМАТА НАТРИЯ

Монохромат натрия, производимый на ЗАО «Русский хром», получают методом высокотемпературного окислительного прокаливания шихты с последующим выщелачиванием спека и фильтрованием раствора. Данное производство довольно трудоемкое, требующее огромных энергетических затрат. Уменьшение же таких затрат является актуальной темой для любого промышленного производства.

Замена котла-утилизатора на теплообменник LOTUS осуществляется на стадии окислительного обжига шихты с целью экономии электроэнергии, благодаря тому, что вода, проходящая через этот теплообменник, будет поступать на нужды производства без дополнительного нагрева.

Основой эффективности теплообменных аппаратов LOTUS является особая организация движения сред как в трубном, так и в межтрубном пространствах.



Движение среды в трубном пространстве LOTUS

В трубном пространстве протекает скоростное турбулентное макровихревое движение за счет сбалансированного подбора диаметра теплообменных труб, их количества в одном ходу, а также количества ходов.

Также важнейшим аспектом при работе с проблемными средами является возможность применения в качестве теплообменной поверхности трубы большого диаметра (Ø 25...57 мм) без увеличения габаритов самих аппаратов. Это позволяет перекрыть весь диапазон применения теплообменника LOTUS для сложных сред.

В межтрубном пространстве в полной мере конструктивно реализуется эффект направленного винтового макровихревого движения сред в строго заданном сечении. Винтовая конструкция перегородок, безусловно, является значительным шагом по пути оптимизации движения теплообмениваемых сред в межтрубном пространстве кожухотрубчатых аппаратов. Она позволяет получить модель полного вытеснения, в которой отсутствуют застойные зоны.

Организация скоростного движения сред с образованием макровихрей в трубном и межтрубном пространствах позволяет решить крайне важные вопросы:

- теплоотдача от среды к стенке происходит за счет конвекции, что позволяет легко увеличить процесс теплообмена в заданных диапазонах гидравлических потерь;
- за счет микровихревого движения сред происходит срыв частиц, стремящихся к высаживанию на теплообменной поверхности, таким образом достигается эффект ее самоочищения, что значительно увеличивает стабильную работу теплообменного оборудования с заданными теплотехническими характеристиками;
- винтовая конструкция перегородок в межтрубном пространстве является демпфирующим элементом аппарата и поглощает гидравлические удары, образующиеся в системе за счет колебаний расходов, что повышает надежность работы как самого аппарата, так и установки в целом.

Основные преимущества кожухотрубчатого теплообменника LOTUS:

- высокий коэффициент теплопередачи;
- эффект самоочищения теплообменной поверхности;
- абсолютная устойчивость к воздействию гидравлических ударов и вибраций;
- устойчивое сохранение эксплуатационных характеристик на протяжении всего срока службы аппаратов;
- отсутствие затрат на чистку и ремонт подогревателей;
- минимальные требования к культуре их эксплуатации;
- компактность габаритных размеров;
- низкие эксплуатационные издержки, составляющие «цену владения»;
- короткий срок окупаемости.

Скоростные винтовые теплообменники конструкции LOTUS успешно прошли экспертизу промышленной безопасности и сертификацию и получили разрешение Ростехнадзора РФ по применению их на опасных производственных объектах.

Расчет экономической эффективности модернизации цеха производства монокромата натрия показал: используя теплообменник LOTUS в качестве замены громоздкого парового котла утилизатора, можно добиться значительной экономии электроэнергии.

Экономическая выгода данного нововведения составляет 683342,4 руб. в год, благодаря этому себестоимость 1 тонны продукции снижается по сравнению с базовой на 0,1 тыс. руб., что обеспечивает 10%-ю рентабельность и срок окупаемости дополнительных капитальных затрат 5 лет.

УДК 666.97

Хабибулин И. Э., Донич Р. А., Земляной К. Г., Павлова И. А.
Уральский федеральный университет,
htko@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗЖИЖАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ

Разжижающие добавки позволяют снизить водопотребление бетонной смеси, не ухудшая тем самым ее реологические свойства, и повысить качество готовой продукции. Повышение качества готовых изделий влечет эффект ресурсосбережения за счет снижения потребляемого продукта. В связи с этим актуальной задачей является подбор оптимальных разжижающих добавок.

В данном исследовании в качестве заполнителя использовали шамот марки ШГАР-42. Этот заполнитель представляет собой переработанный брак сушки и обжига изделий, что также влечет сохранение ресурсов за счет использования вторичных сырьевых материалов и полностью исключает затраты на глинистое сырье, а также на топливо и энергию, необходимые для высокотемпературного обжига глины на шамот.

В качестве разжижающих добавок использовали триполифосфат и полифосфат отечественного производства, диспергирующие глиноземы ADS-3, ADW-1, M-ADS-1 и M-ADW-1 германской фирмы ALMATIS, а также ускоритель схватывания SioxX-Quick норвежской фирмы Elkem.

В результате выполненной работы было установлено, что использование отечественных разжижающих добавок приводит к снижению количества потребляемой воды для затворения бетонной смеси. Образцы, изготовленные с применением отечественных добавок, в сравнении с образцами, изготовленными с применением зарубежных добавок, имеют более высокие показатели предела прочности на сжатие и изгиб. Образцы с применением отечественных имеют большую кажущуюся плотность и меньшую пористость в сравнении с изготовленными с использованием зарубежных добавок.

Свойства образцов в зависимости от вида применяемой разжижающей добавки

№ состава	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	Предел прочности при изгибе, Н/мм ²	Плотность кажущаяся, г/см ³	Пористость открытая, %
Состав 1 (триполифосфат)	110,4	17,7	2,34	16,5
Состав 2 (полифосфат)	122,8	15,1	2,33	16,6
Состав 3 (ADS-3 и ADW-1)	41,2	6,1	2,13	23,7
Состав 4 (M-ADS-1 и M-ADW-1)	37,6	3,2	2,08	25,5
Состав 5 (SioxX-Quick)	16,4	3,5	2,05	26,6

В ходе исследований установлено, что при производстве алюмосиликатных бетонов в качестве разжижающих добавок лучше всего использовать триполифосфат и полифосфат натрия. Применение недорогостоящих отечественных добавок в сравнении с зарубежными аналогами позволит сократить затраты на производство.

УДК 669.184

Хейло Д. В., Картацев С. В.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
znaxar1994@mail.ru

СПОСОБЫ И ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Для определения состояния начальной системы конвертерных газов были проведены численные исследования с применением современных средств. На основе базы полных энтальпий была рассчитана семикомпонентная модель по газу [1]:

Given

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 + 2x_5 + 0.5x_8 &= 0.3 & \mathbf{H_2} &:= 1 \\
 x_3 + x_4 + x_5 &= 44.63\% & \mathbf{H_2O} &:= 2 \\
 x_4 + x_7 + 0.5(x_3 + x_2 + x_8) &= 24.5495 + \mathbf{O_2} & \mathbf{CO} &:= 3 \\
 \frac{x_4 \cdot x_1}{x_2 \cdot x_3} &= k_1(x_6) & \mathbf{CO_2} &:= 4 \\
 & & \mathbf{CH_4} &:= 5 \\
 & & \mathbf{t_g} &:= 6 \\
 & & \mathbf{O_2} &:= 7 \\
 & & \mathbf{OH} &:= 8
 \end{aligned}$$

$$x_1^2 \cdot x_7 - x_2^2 \cdot k_3(x_6) = 0$$

$$x_8^2 \cdot x_1 - x_2^2 \cdot k_4(x_6) = 0$$

$$x_4 + x_7 + 0.5(x_3 + x_2 + x_8) = 24.5495 + O_2$$

$$\frac{x_4 \cdot x_1}{x_2 \cdot x_3} = k_1(x_6)$$

$$\begin{array}{l} x_8^2 \cdot x_1 - x_2^2 \cdot k_4(x_6) = 0 \\ \frac{x_5 \cdot x_2}{x_3 \cdot (x_1)^3} = k_2(x_6) \\ \text{Minerr}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8) = \\ x_1^2 \cdot x_7 - x_2^2 \cdot k_3(x_6) = 0 \end{array} \left(\begin{array}{c} 1.638 \times 10^{-3} \\ 0.054 \\ 9.075 \\ 35.564 \\ 0 \\ 0.356 \\ 0.695 \\ 0.488 \end{array} \right)$$

В данной модели перечислены компоненты, входящие в состав конвертерного газа и реакции диссоциации. В ходе расчетов установлено, что температура горения данного процесса равна 3287 °С. Рассмотрим использование тепла отходящих газов по двум направлениям.

Первое – использование теплоты на обжиг извести. Она является неотъемлемым компонентом для выплавки конвертерной стали. На 1 тонну выплавляемой продукции образуется 80 м³ вторичного газа, который имеет физическую теплоту в 200 МДж и температуру 1600 °С [2]. Обжиг извести требует температуру 900 °С и теплоту 143 МДж. Газы способны обжечь 45 кг извести, необходимой для производства.

Вторым возможным источником использования теплоты является нагрев лома. Если нагреть лом до 800 °С отходящими газами, то можно получить 357 кг обожженного лома на 1 т чугуна в полном противотоке [3]. Сегодня максимум – 250 кг. А если нагревать уже расплавленный лом, то эффект получится добавлением к стали 143 кг продукта. После нагрева лома газы будут иметь остаточную теплоту, которую можно направить на обжиг извести.

Подводя итог проделанной работе, стоит отметить, что разработана модель, проведены исследования и получена оценка, которая дает значительный эффект и подталкивает на дальнейшую работу в этом направлении.

Список литературы

1. Gurvich L. V., Veitz I. V., et al. Thermodynamic Properties of Individual Substances. Fourth edition in 5 volumes, Hemisphere Pub Co. NY, L. Vol. 1 in 2 parts, 1989.
2. Ташкангузова А. А., Хейло Д. В., Картацев С. В. Оценка замещения природного газа конвертерным // Энергетики и металлургии. Настоящему и будущему России : 15-я всерос. конф. Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. 104 с.
3. Способ предварительного нагрева лома в конвертере : а. с. 1638174 СССР [Электронный ресурс]. URL: <http://patentdb.su/5-1638174-sposob-predvaritelnogo-nagreva-loma-v-konvertire.html> (дата обращения: 21.11.2014).

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА НАТРИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХРОМОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ресурсосбережение должно достигаться на всех этапах производства и использования ресурсов путем:

- максимального использования ресурсов;
- сведения к минимуму потерь при транспортировке и хранении;
- полного использования вторичных ресурсов в качестве полноценного сырья;
- переработки отходов;
- утилизации отбросов.

В настоящее время на предприятии ЗАО «Русский хром 1915» существуют производства бихромата натрия и бихромата аммония, которые сопровождаются образованием многотоннажного отхода – сульфата натрия.

Сульфат натрия применяется в целлюлозно-бумажной (сульфатная варка целлюлозы), стекольной (как компонент шихты), химической (выпуск сернистого натрия, красителей, моющих средств), мыловаренной и кожевенной промышленности, в медицине и ветеринарии.

Для реализации сульфата натрия в промышленности разработан технологический процесс производства сульфата натрия в качестве товарного продукта. Технологический процесс заключается в очистке растворов сульфата натрия от шестивалентного хрома путем его перевода в трехвалентное состояние, осаждении в виде гидроксида хрома с последующим отделением на патронных фильтрах и упариванием сульфатных растворов, отделении кристаллов сульфата натрия из растворов в центрифугах и их сушке.

Фильтрация проводится на патронных фильтрах-сгустителях при избыточном давлении до 0,3 МПа. Полный рабочий цикл патронного фильтра включает несколько циклов фильтрования и последующую выгрузку накопленного осадка в виде сгущенной суспензии гидроксида хрома. Осадок сбрасывается с патронов в бак-сборник и удаляется в виде сгущенной суспензии гидроксида хрома, которая содержит до 30 % мас. сульфата натрия. Данную суспензию направляют на шламовый прудок, что приводит к значительным потерям сульфата натрия и хрома в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

Сульфат натрия выпускается согласно техническим условиям ТУ 2141-028-00204854-95 и должен соответствовать нормам (табл. 1).

В целях ресурсосбережения (во избежание больших потерь сульфата натрия) предлагается усовершенствование стадии фильтрации пульпы путем повышения степени извлечения сульфата натрия из гидроксида хрома с помощью фильтр-пресса камерного типа марки ФКМ.

Физико-химические показатели сульфата натрия

Наименование показателей	Значения	
	первый сорт	второй сорт
1. Массовая доля сульфата натрия (Na_2SO_4), %, не менее	99,400	98,000
2. Массовая доля нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,200	0,700
3. Массовая доля хлоридов в пересчете на NaCl , %, не более	0,200	0,900
4. Массовая доля железа в пересчете на Fe_2O_3 , %, не более	0,010	0,015
5. Массовая доля влаги, %, не более	0,300	1,000
6. Массовая доля хрома (VI), %, не более	следы	следы

Пульпа, поступающая на стадию фильтрации, содержит до 1,94 % мас. твердой фазы. Для увеличения производительности разделение суспензии на влажный осадок и чистую жидкость предлагается проводить в две стадии: первую стадию проводить на имеющихся в схеме патронных фильтрах-сгустителях, вторую стадию – на фильтр-прессе камерного типа.

Фильтр-пресс камерного типа имеет 45 фильтровальных плит с размером 1200x1200 мм. Вязкость фильтрата $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}^{-2}$, вязкость промывной жидкости $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}^{-2}$, удельное объемное сопротивление осадка $r_o = 1,32 \cdot 10^{12}$, отношение объема осадка к объему фильтрата $x_o = 0,1196$; разность давлений $= 4,00 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$, продолжительность вспомогательных операций $\tau_{\text{всп}} = 600 \text{ с}$ (10 мин). Продолжительность стадии фильтрования – 3,80 мин, продолжительность стадии промывки – 6,22 мин. Продолжительность одного цикла фильтрования – 20,02 мин. Производительность фильтр-пресса – $38,78 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$.

При закрытии фильтр-пресса пакет фильтровальных плит сжимается при помощи гидравлической системы, тем самым между плитами образуются закрытые фильтровальные камеры. В камеры фильтр-пресса закачивается суспензия, жидкая фаза проходит через салфетку, каналы в плите и отводится из фильтр-пресса, твердая фаза задерживается на салфетке, происходит нарастание слоя осадка, повышается сопротивление фильтрации, одновременно снижается расход суспензии, подаваемой в фильтр-пресс. Происходит заполнение твердой фазой. После фильтрации происходит продувка центрального канала – из канала подачи суспензии вытесняются остатки непрофильтрованной суспензии. Далее идет открытие и разгрузка фильтр-пресса: гидравлическая система ослабляет сжатие плит, и фильтр-пресс открывается. Осадок выносятся на ткань из межплитного пространства и сбрасывается в бункеры. Ткань протягивается через камеру регенерации, промывается, фильтр вновь зажимается, и рабочий цикл повторяется. Полученный очищенный раствор сульфата натрия направляется вместе с основным потоком на стадию упарки. Осадок гидроксида хрома предлагается отгружать на производство монокромата натрия в качестве добавки к хромитовой руде.

Таблица 2

Составы исходного и товарного сульфата натрия

Состав исходного раствора сульфата натрия, % мас.		Состав товарного сульфата натрия, % мас.	
Na ₂ SO ₄	22,26	Na ₂ SO ₄	99,68
NaCl	0,01	NaCl	0,02
Na ₂ Cr ₂ O ₇	0,16	H ₂ O	0,30
Нерастворимый остаток	0,01		
H ₂ O	77,56		

Таблица 3

Основные технико-экономические показатели проекта

Наименование показателей	Единица измерения	До внедрения технологии	После внедрения технологии
Объем производства продукции	т	27200,00	28500,00
Общая сумма инвестиций	тыс. руб.	–	2100,00
Стоимость основных производственных фондов	млн руб.	73,04	75,14
Численность работающих	чел.	77,00	77,00
Производительность труда: – одного работающего – одного рабочего	тыс. руб./ чел.	353,25 405,97	370,13 425,37
Себестоимость продукции: – единицы продукции – всего выпуска	руб. млн руб.	2802,41 76,22	2793,41 79,61
Условно-годовая экономия	тыс. руб.	–	256,50
Цена за 1 тонну продукта	тыс. руб.	5,13	5,13
Прирост чистой прибыли	тыс. руб.	–	2625,90
Срок окупаемости	мес.	–	7,20

Полученные результаты свидетельствуют о практической возможности и экономической целесообразности реализации рассматриваемого проекта (табл. 2 и 3).

УДК 66.040

Чалов Е. О., Платонов И. В., Картавец С. В.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
e_chalov@mail.ru; plabel@mail.ru; kartavzw@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

В металлургическом производстве теряется большое количество энергии с охлаждаемой сталью. Использование теплоты жидкой стали как вторичного энергетического ресурса позволило бы решить эту проблему.

По проведенным исследованиям [1] наиболее эффективным применением теплоты жидкой является использование ее на подогрев и плавление металлического лома, так как из всех материальных металлургических потоков только металлический лом возможно нагреть до 1600 °С и передать всю теплоту жидкой стали. Использование полученного плавного лома позволит увеличить долю металлического лома в сталеплавильном процессе и снизить энергоемкость производства.

Есть принципиальные решения получения плавного металлического лома за счет теплоты жидкой стали с использованием высокотемпературного жидкометаллического теплоносителя [2]. В качестве теплоносителя выбран свинцово-висмутовый сплав С-13. Данный сплав химически не взаимодействует со сталью, его можно использовать во всем температурном интервале охлаждения жидкой стали, а необходимая разность плотностей позволяет не перемешиваться теплоносителю и жидкой стали.

Следующим этапом данной работы являлось экспериментальное моделирование процесса плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе.

Из-за сложности натурального эксперимента процесса плавления металлического лома в свинцово-висмутовом сплаве проводится экспериментальное моделирование на более простых материалах с соблюдением условий подобия.

В качестве модели высокотемпературного теплоносителя выбрана вода, а моделирующим материалом является парафин. Выбор материалов обосновывается их доступностью, изученностью, дешевизной.

Для соблюдения условий подобия предварительно были рассчитаны числа Био для плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе, а также плавления парафина в воде [3]. В расчетах металлический лом представлен в виде стальных шаров, что является обычным приемом идеализации при решении задач нагрева и расплавления шихты. Поэтому для различных видов лома определяли эквивалентный диаметр кусков. В расчетах эквивалентный диаметр лома изменялся в интервале 25–500 мм, что следует из эквивалентного диаметра лома и отвечает достаточно большому разнообразию видов лома, применяемого в сталеплавильном процессе.

Из условий равенства чисел Био для процесса плавления металлического лома и процесса плавления парафина были найдены диаметры парафина, адекватно моделирующие процесс плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе.

Размеры парафина получились равными 0,001–0,03 м [3]. Для проведения эксперимента плавления использовался парафин в форме шара диаметром 0,01 м. Этот диаметр моделирует средние куски лома, а также обеспечивает наглядность эксперимента и удобен для фиксации времени плавления.

Эксперимент проводился следующим образом: парафин в форме шара диаметром 0,01 м с температурой окружающей среды 23 °С погружается в воду, предварительно нагретую до 70 °С. Температура воды превышает темпера-

туру плавления парафина (56 °С). Превышение температурой воды температуры плавления парафина соответствует превышению температурой теплоносителя температуры плавления стали. Изменение температуры парафинового шара фиксируется с помощью термопары, встроенной в центр шара. Изменение температуры воды и окружающей среды осуществляется дополнительными термопарами. Также в ходе эксперимента фиксировалось время до полного расплавления парафина. Экспериментальные данные представлены на рисунке.

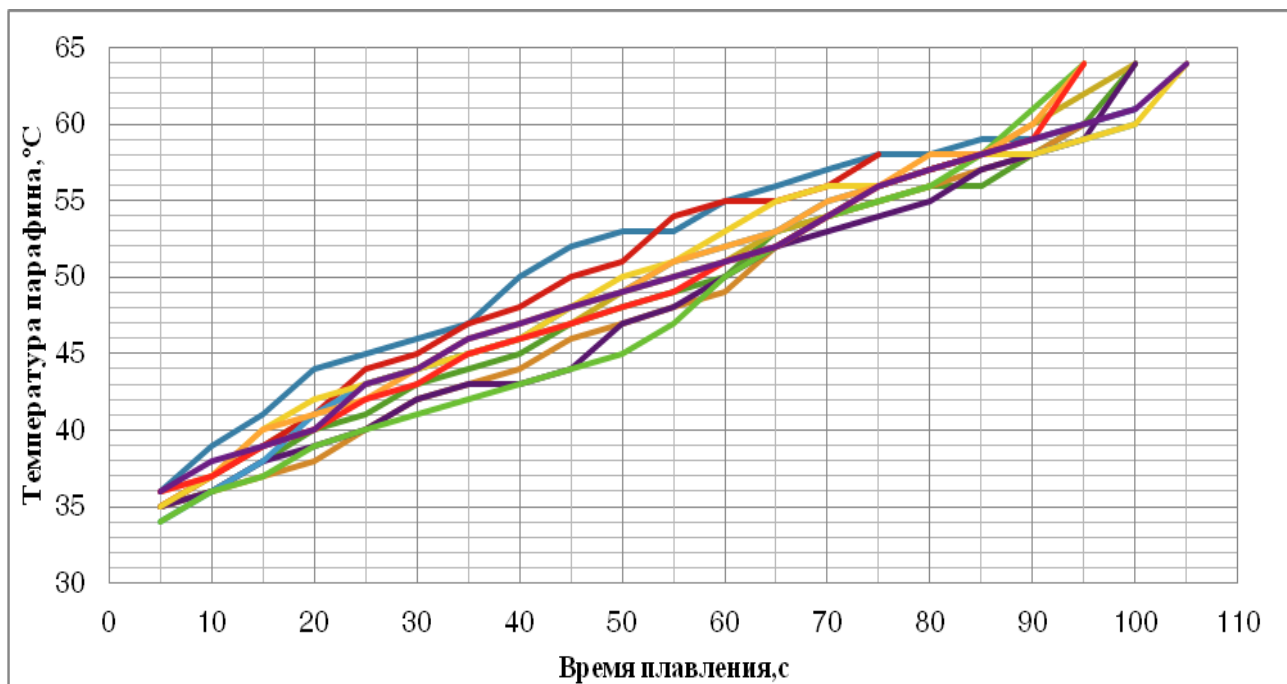


График зависимости температуры парафина от времени плавления

Согласно экспериментальным данным, среднее время плавления шара парафина диаметром 0,01 м составило 97 секунд. Исходя из полученного времени, удельная объемная производительность составила $4,86 \cdot 10^{-6}$ кг/с.

Список литературы

1. Платонов И. В., Картавцев С. В. Возможности интенсивного энергосбережения в электросталеплавильном процессе // *Электromеталлургия*. 2013. № 8. С. 42–45.
2. Строгонов К. В., Картавцев С. В. Жидкая сталь. Использование теплоты и скоростная разливка : монография. Магнитогорск : МГТУ, 2006. 147 с.
3. Чалов Е. О., Платонов И. В., Картавцев С. В. Физическое моделирование процесса плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : сб. материалов Всерос. студенческой олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых*. Екатеринбург : УрФУ, 2013. С. 231–234.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ УЛАВЛИВАНИЯ БЕНЗОЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ КОКСОВОГО ГАЗА

Коксохимическая промышленность является крупным потребителем тепловой и электрической энергии, воды. В соответствии с задачами, сформулированными в Федеральной целевой программе «Энергоэффективная экономика», в химической промышленности и других энергоемких отраслях предусматривается проведение комплекса программных энергосберегающих мероприятий, позволяющих снизить себестоимость производимой продукции, повысить ее конкурентоспособность.

Коксохимическое производство служит одним из поставщиков веществ, необходимых для современного органического синтеза. Сырьем для работы предприятия ОАО «Уральская сталь» является каменный уголь, наряду с целевым продуктом – коксом – получают коксовый газ, при переработке которого выделяют более 400 различных продуктов, их стоимость до 25 раз превышает стоимость исходного каменного угля. Одним из продуктов переработки газа является сырой бензол. Сырой бензол представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из одноядерных ароматических соединений. Содержание бензольных углеводородов в конечном продукте зависит от технологии коксования и состава и вида исходного сырья. Главный компонент сырого бензола – бензол, содержание которого в продукте достигает 90 %. Бензол широко применяется как сырье для производства лекарств, пластмасс, каучуков, резин, красителей и искусственных волокон.

Цех улавливания на ОАО «Уральская сталь» является одним из поставщиков сырого бензола, который служит исходным сырьем для ряда химических предприятий. С целью повышения качества выпускаемой продукции и снижения ее энергоемкости на предприятии ведутся активные работы по развитию производства и усовершенствованию технологических процессов. В 2008 году на предприятии был проведен анализ показателей работы коксохимического и доменного производства, проведено энергетическое обследование в цехе улавливания для определения эффективности энергоиспользования и выявления резервов энергосбережения.

По результатам обследования установлено:

- значительное превышение фактических расходов пара, потребляемого в технологической схеме, над расчетными показателями;
- низкое качество эксплуатации оборудования энергосистем, отсутствие необходимой технической документации;
- использование устаревшей теплообменной аппаратуры;
- нарушение теплоизоляции трубопроводов и рабочей аппаратуры.

Для устранения выявленных недостатков запланировано проведение следующих работ:

- оптимизация системы снабжения технологическими энергоносителями основного производственного оборудования цеха улавливания;
- организация правильного и постоянного ведения оперативно-технической документации персоналом цехов и участков;
- замена кожухотрубных теплообменников на пластинчатые;
- восстановление теплоизоляции.

В настоящей работе определены некоторые параметры работы предприятия в 2013 г. и установлено, что разница между фактическим и расчетным расходами пара, являющегося одним из основных энергоносителей на предприятии, составляет 107,74 тыс. т/ч, или 38 % от фактического потребления пара. Пароснабжение цеха улавливания осуществляется от котельной ООО «УКХ» г. Новотроицка.

Причины возникновения разницы фактических и расчетных значений расходов пара следующие:

- отсутствие конденсатоотводчиков у оборудования, потребляющего пар, или их неудовлетворительная работа;
- отсутствие на трубопроводах наружных паровых сетей пусковых и постоянных дренажей;
- отсутствие на паропроводах выпуска воздуха;
- некачественная изоляция или отсутствие таковой на паропроводах и оборудовании;
- несовершенный учет расходов пара низкого и высокого давления в узлах учета в котельной;
- отсутствие узлов учета потребления пара в цехах завода.

Для сокращения потребления пара и доведения фактических показателей потребления до расчетных предложены мероприятия, перечисленные в таблице.

Энергосберегающие мероприятия

Мероприятие	Годовая экономия		Затраты, тыс. руб.	Срок окупаемости
	натур. ед.	тыс. руб.		
Установка двух пластинчатых теплообменников вместо трех кожухотрубных	19 272 т	6639	700	2 месяца
Установка пусковых и постоянных дренажей на паропроводах	300 Гкал	210	50	3 месяца
Установка нового коммерческого узла учета острого пара «Крейт» на давление 6 кгс/см ² и расход 5000 м ³ /ч	13964 Гкал	1536	140	1 месяц

Проведен анализ и сделана оценка эффективности замены кожухотрубных теплообменников в системе нагрева поглотительного масла цеха улавливания сырого бензола на пластинчатые. Основные затраты для замены теплообменников складываются из:

- стоимости пластинчатых теплообменников;
- доставки и монтажа нового оборудования;
- демонтажа старого оборудования.

Относительное (удельное) значение эффекта энергосберегающего мероприятия на единицу затрат – 8,74 Гкал/тыс. руб., эффективность в денежной форме – 5,98 руб./руб. В соответствии с принятой классификацией данное энергосберегающее мероприятие обеспечивает высокую по своему значению эффективность.

Таким образом, предлагаемая замена морально и физически устаревших кожухотрубных теплообменников на стадии нагрева поглотительного масла перед ректификацией на пластинчатые даст существенный энергосберегающий эффект (ежегодная экономия 6,6 млн руб.), повысит надежность работы технологической схемы и улучшит условия труда обслуживающего персонала.

УДК 621.357

Шмакова В. С., Новиков А. Е.
Уральский федеральный университет,
redox61@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИХ И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Никелевые покрытия толщиной от 1 до 100 мкм получили широкое распространение в качестве защитных и защитно-декоративных покрытий в различных отраслях промышленности. Высокая коррозионная стойкость покрытий значительно увеличивает время эксплуатации оборудования. Это, в свою очередь, позволяет сократить расход материалов и способствует снижению энергозатрат на изготовление и ремонт оборудования.

Никель на стальные детали может быть осажден химическим или электрохимическим способом. Целью работы является сравнительная оценка защитной способности химических и гальванических никелевых покрытий.

Никелевое покрытие наносили на плоские стальные образцы размером 25x30 мм. Образцы перед нанесением покрытия тщательно обезжировали и травили. Толщина покрытий составляла 6, 12 и 18 мкм. Гальванический никель осаждали из сульфатно-хлоридного электролита Уоттса, содержащего (г/л): NiSO_4 – 350, NiCl_2 – 60, H_3BO_3 – 30; при плотности тока 1 А/дм². Электроосаждение никеля проводили при температуре электролита 25 °С.

Для химического никелирования использовали раствор следующего состава (г/л): NiSO_4 – 25, CH_3COONa – 15, CH_3COOH – 5, NaH_2PO_2 – 15. Температуру раствора 92°C поддерживали с помощью термостата марки ТЖ-ТС-01.

После нанесения покрытий методом наложения фильтровальной бумаги, пропитанной раствором железосинеродистого калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, определена их пористость. Экспериментальные результаты (табл. 1) показывают, что никелевое покрытие, полученное химическим способом, имеет меньшую пористость, чем гальваническое покрытие. С ростом толщины покрытия пористость его уменьшается.

Таблица 1

Количество пор в зависимости от типа никелевого покрытия

Толщина покрытия, мкм	Пористость, шт.	
	Электрохимическое	Химическое
6	54	4
12	28	0
18	4	0

Скорость коррозии определяли гравиметрическим методом по изменению массы образцов за время нахождения в 3%-м растворе NaCl в течение 6 суток. Результаты коррозионных испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость коррозии в зависимости от природы никелевого покрытия и его толщины

Электрохимическое		Химическое	
Толщина покрытия, мкм	Скорость коррозии, $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{ч}}$	Толщина покрытия, мкм	Скорость коррозии, $\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{ч}}$
6,0	$1,5 \cdot 10^{-4}$	5,9	$1,1 \cdot 10^{-4}$
12,3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	11,7	$0,98 \cdot 10^{-4}$
18,1	$1,1 \cdot 10^{-4}$	18,0	$0,51 \cdot 10^{-4}$

Как следует из данных, приведенных в табл. 2, скорость коррозии образцов, покрытых химическим никелем, меньше, чем образцов с покрытием, нанесенным гальваническим способом. В том и другом случае коррозионное разрушение образцов с ростом толщины покрытия снижается. Это, по-видимому, связано с уменьшением пористости покрытий.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что химическое никелевое покрытие стали обладает лучшими защитными свойствами по сравнению с гальваническим покрытием. Кроме того, процесс химического никелирования менее энергоемкий, поскольку не предполагает использования электрической энергии.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Россия выбрала курс на широкое внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, которым присвоен статус приоритетных. Сегодня экономическая ситуация в мире сложилась таким образом, что эти технологии стали единственным гарантом развития и сохранения бизнеса.

Существующие в теплоэнергетике технологии базируются на общих принципах преобразования энергии. Топливо сжигается в специальных устройствах, высвобождая химическую энергию горения в виде теплоты, нагревающей газообразные продукты сгорания, которые передают часть приобретенного тепла в систему, преобразующую его в полезную работу. Вне зависимости от степени совершенства преобразующих тепло агрегатов существенная часть энергии топлива безвозвратно теряется в окружающей среде.

Совершенствование преобразующих энергию агрегатов имеет свой теоретический предел. Даже если создать идеальный агрегат, в котором будут отсутствовать потери тепла через стенки, то такой агрегат все равно будет не в состоянии преобразовать всю энергию топлива в полезную работу.

Во всех случаях ограничение на эффективность использования топлива накладывает второе начало термодинамики, согласно которому коэффициент полезного действия любой термодинамической системы не может быть выше некоторого теоретического значения, определяемого типом термодинамического процесса. Этот постулат напрямую связан с энтропией, изменение которой в любом самопроизвольном процессе не может быть отрицательным. Если бы данный постулат можно было нарушить, появилась бы возможность создания вечного двигателя, который позволял бы получать энергию непосредственно из окружающей среды.

Квантовая полирезонансная активация (КПРА) – это принцип, позволяющий управлять энтропией на молекулярном уровне без сложных внешних воздействий на какую-либо систему.

Основным условием возникновения КПРА является энергетическое соответствие – средняя энергия движения частиц среды должна быть выше псевдостабильного уровня возбужденного состояния частиц, вызывающих КПРА. Этого можно добиться двумя путями. Первый, применяемый в лазерах, называется накачкой. В систему вводится энергия (свет, химическая реакция, интенсивный нагрев и т. п.) с интенсивностью, достаточной для непрерывного возбуждения частиц до псевдостабильного состояния. Второй способ заключается в том, что в качестве инициаторов КПРА используются частицы с очень низкими уровнями возбуждения, и тогда система непрерывно получает накачку от тепла окружающей среды.

При этом сколько энергии поглощается, вызывая КППА, столько и высвобождается. Наиболее интересным фактом является то, что для инициации КППА требуется очень малое количество частиц, называемых квантовыми наноактиваторами. Обычно для перевода в состояние с пониженной энтропией достаточно одной частицы наноактиватора на миллиард молекул пассивной среды.

Название «наноактиватор» не случайно, поскольку обычные молекулы имеют более высокие уровни возбуждения, чем необходимо, из-за чего в качестве наноактиваторов используются органические соединения кластерного типа – наночастицы (20 нм), состоящие из нескольких однотипных молекул.

Применение принципа КППА заключается в введении необходимого количества соответствующего наноактиватора в активируемую среду. Если средой является жидкое углеводородное топливо, используются наноактиваторы, хорошо в нем растворимые. Процесс активации протекает быстро (минуты), ограничением является скорость распределения наноактиватора в среде. Эта скорость существенно выше, чем обычная диффузия (за счет резонансных явлений), но для вязких видов топлива в отсутствие принудительного перемешивания может занимать до нескольких часов.

Для жидкотопливных электростанций применение активаторов мазута (который хранится и используется при повышенных температурах, что приводит к его активации уже в жидком состоянии) даст снижение вязкости, а при его сжигании произойдет активация топочных газов, снизится теплостойкость отходящих газов на 8–9 Дж/(моль·К), увеличится температура ядра факела на 100–150° С, в результате чего наблюдается снижение удельного расхода до 15 %, а также уменьшатся загрязнение поверхностей теплообмена, водородная и кислотная коррозии и существенно сократятся вредные выбросы.

Для газовых и угольных электростанций применяется водный раствор наноактиватора, который инжектируется в топочное пространство котла либо во вторичный воздух. Наблюдается снижение удельного расхода топлива на 5–7 % при расходе наноактиватора около 0,5 г/т угля или 1 тыс. м³ природного газа.

Возможно также использование водных наноактиваторов в котловой воде паросиловых агрегатов. Активация котловой воды приводит к снижению энтропии воды и перегретого пара без изменения теплоты парообразования (конденсации), что увеличивает КПД термодинамического цикла Клаузиуса – Ранкина, лежащего в основе работы тепловых электростанций.

Сегодня различные наноактиваторы производятся в США – eeFuel, на Украине – анамегатор и анакларид и в России – продукт ХАЛФРИД («Химический концерн Халфрид» г. Москва) мазут (метан, дизель, бензин), уже проведенные многочисленные испытания которых подтверждают высокую эффективность данной технологии.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.182.3

Аскадеева Э. Р., Гасилина И. А.
Альметьевский государственный нефтяной институт,
teplotexAGNI@yandex.ru

О ПРИМЕНЕНИИ ПЕЛЛЕТНЫХ КОТЛОВ НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Стоимость энергоресурсов постоянно растет во всем мире и в России тоже. Поэтому люди ищут новые виды топлива, которые не дорожали бы так быстро, как природный газ и электрическая энергия, были бы экологически чистыми и удобными в использовании.

Автозаправочные станции часто расположены в местах отсутствия газопроводов, поэтому для отопления офисных зданий АЗС предлагается использовать pelletные котлы.

Одним из таких новых видов топлива являются древесные топливные гранулы (сильно сжатые крошечные кусочки древесины без добавок и примесей), которые еще называют «pelletты».

Pelletты являются продуктом, который изготавливается из быстро возобновляемого сырья – древесины (в основном, опил или дробленые отходы деревопереработки).

Использование pellet имеет ряд выгод для самого потребителя: они имеют высокую теплоту сгорания – 4500 ккал/кг; не требуют много места для складирования; древесные гранулы обладают малой зольностью (менее 1–1,5 %); в их составе практически нет серы. В этом случае резко снижается возможность увеличения концентрации серы в воздухе; низкая коррозионная агрессивность дымовых газов, образующихся при сжигании гранул, дает возможность конденсировать влагу дымовых газов и высвободить скрытую теплоту парообразования, а также увеличить срок службы котельного оборудования; гранулы могут храниться в непосредственной близости от жилых помещений (подвальные или подсобные помещения), поскольку этот материал биологически неактивный, так как прошел термическую обработку; гранулы не содержат спор, которые могут вызывать аллергическую реакцию у людей.

Процесс использования древесных гранул почти полностью автоматизирован, требуется лишь периодически засыпать pelletты в топливный бункер, одной загрузки pellet хватает на несколько дней. При сжигании они имеют незначительные отходы в виде золы не более 3 % от объема pellet. В настоящее время производителей pellet в России достаточно, чтобы обеспечить топливом. Средняя цена pellet в России колеблется от 4000 до 6000 тыс. руб.

Популярность использования pellet в мире неуклонно растет. По данным Минэнерго РФ, потребление pellet в мире превышает 15 млн т в год. Основной потребитель pellet – это Западная Европа, которая потребляет более 10 млн т в год.

Наиболее крупными производителями пеллет в России являются такие компании, как: «Выборгская целлюлоза», Ленинградская область; «Лесозавод 25», Архангельская область; «Сетново», Новгородская область; «Галион Терра», Тверская область; ДОК «Енисей», Красноярский край.

Пеллетные котлы – это разновидность котлов на твердом топливе. Они предназначены для сжигания древесных топливных гранул (пеллет). Преимущества таких котлов – независимость от центральных источников и, следовательно, тарифных ставок, экологическая чистота, максимальная автоматизация и безусловная экономичность.

Котлы на пеллетах имеют высокий уровень автоматизации и обеспечивают программирование режимов работы и поддержание заданной температуры.

Камера сгорания этих котлов относительно небольшая, так как основной теплосъем происходит в хорошо развитой многоходовой конвективной части котла (до 70 %). В результате такой конструкции пеллетного котла температура уходящих газов составляет всего 100–200 °С. Котел оборудован специальной гранульной горелкой объемного типа, которая обеспечивает более высокий КПД работы котла (90–93 %) при сгорании гранул, чем у других категорий твердотопливных котлов, и сравнима по эффективности с котлами на природном газе.

Немаловажным фактором спроса на эти котлы является «срок жизни» котла, который для пеллетных котлов составляет 20 лет и более.

Некоторые модели котлов могут быть оснащены дополнительным контуром ГВС (горячего водоснабжения). Чистка золы осуществляется, как правило, 1 раз в месяц, а следовательно, котлы не требуют специального обслуживания.

Для здания АЗС площадью 160 м² проведен расчет экономической эффективности.

Рассмотрены варианты с газовым котлом (ориентировочная стоимость 30 тыс. руб.) и с пеллетным котлом (ориентировочно – 150 тыс. руб.). При отсутствии магистрального газа нужен газгольдер (ориентировочная цена – 300 тыс. руб.). Итого капитальные затраты – 330 тыс. руб. с газовым котлом, 150 тыс. руб. – с пеллетным котлом.

Из расчета видно, что пеллетные котлы экономически выгоднее, чем котлы, работающие на газе.

УДК 621.548

Баткова Е. В., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет,
evb95@mail.ru

КОНСТРУКЦИЯ ВЭУ С МАКСИМАЛЬНО ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Ветер – это один из наиболее мощных возобновляемых источников энергии. За период с 2000 по 2013 гг. установленная мощность ВЭС увеличилась в

18 раз. Многие аналитики мира ожидают, что темпы роста в 2014 году и в последующем будут существенно выше [1].

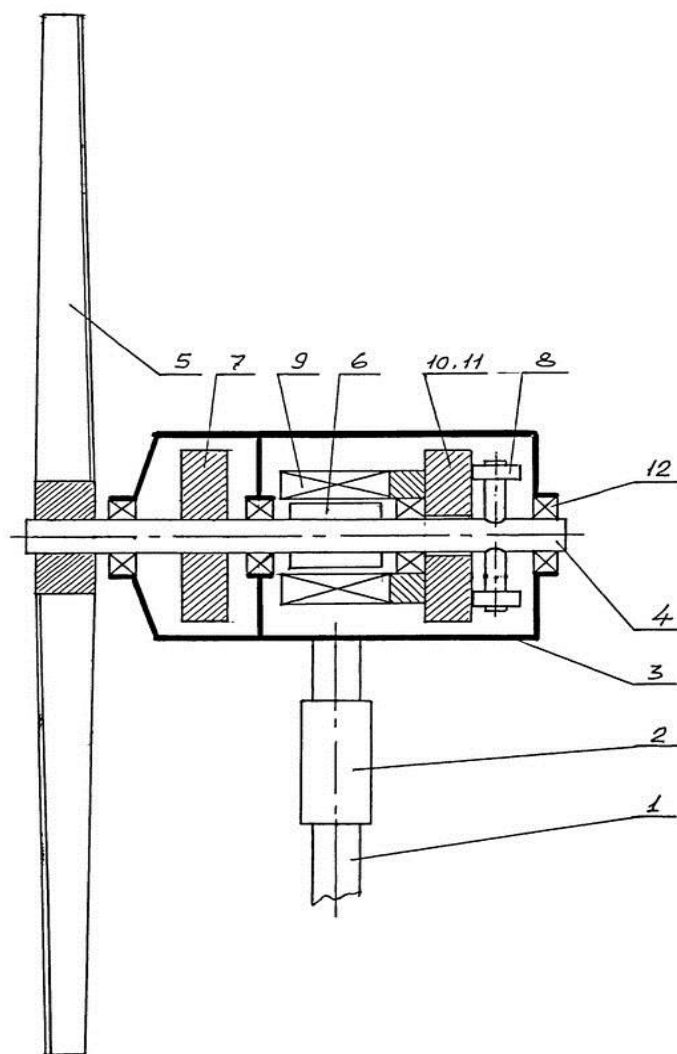
Существующие конструкции ВЭУ представляют собой практический интерес только в регионах, обладающих вектором перемещения атмосферных масс воздуха у поверхности земли или воды со скоростью 8,0–24,4 м/с, что имеет место исключительно в степных и приморских районах, при освоении морского шельфа. Ветер при его скорости менее 3,4 м/с (легкий ветер) имеет ничтожно малую кинетическую энергию. Максимальная мощность одной ВЭУ из известных прототипов составляет 5 МВт, что исключает транспортировку электроэнергии от ветроэнергетических генераторов на значительные расстояния и ограничивает потребление электроэнергии в месте ее производства, резко сужая ареал распространения и применимости ВЭУ, их долю и значение в мировой энергетике. Качество производимой ВЭУ электроэнергии ниже, чем от иных энергетических источников. Последнее обусловливается аэродинамической нестабильностью природного энергоносителя, а именно атмосферно-воздушных потоков, что ведет к неустойчивой работе турбины и электрогенератора ВЭУ, колебаниям, пульсациям, пиковым значениям и иным отклонениям от номинала в запитанных от нее электрических сетях.

Кроме того, как показывает практика, существующими конструкциями ВЭУ полностью используется не весь диапазон скоростей ветра. При скоростях ветра ниже минимальной рабочей мощности ветроколеса не хватает даже на преодоление сил трения в узлах вэу. Коэффициент использования энергии ветра идеальным ветроколесом равен 0,593. Достигнутый на горизонтально-осевых ветроустановках коэффициент использования энергии ветра составляет примерно 0,40–0,45, при этом ряд экспериментов российских ученых показал, что достижение значения 0,47–0,48 для вертикально-осевых установок – реальная задача, но только при условии обеспечения высокого уровня проектирования и качества изготовления компонентов и сборки изделия (сейчас коэффициент использования энергии ветра вертикально-осевыми ветроустановками составляет 0,36–0,45).

С целью обеспечения работоспособности ВЭУ при малых скоростях ветра взамен применения традиционных крупногабаритных установок возможно использование контрроторного ветродвигателя, оснащенного одной турбиной, ось вала которого размещена коаксиально относительно соосного положения валов ротора и контрротора. Вал турбины оснащен двумя ведущими элементами, один из которых соединен гибкой связью с валом ротора (контрротора), а второй – перекрещенной гибкой связью с валом контрротора (ротора), так что ротор и контрротор имеют вращение в противоположные стороны. На валу турбины установлен инерционный маховик (см. рис.).

В диапазоне скоростей от минимальной рабочей до расчетной, при которой ветроколесо ВЭУ развивает установленную мощность, использование энергии ветра осуществляется наиболее полно.

Проблема расширения диапазона работы ВЭУ при малых скоростях ветра в основном решается за счет механического наращивания габаритов трехлопастных турбин пропеллерного типа, таким примером могут служить быстроходные ВЭУ серийной модели E-112 мощностью 4,5 МВт фирмы *Enercom GmbH* с турбиной диаметром 104 м и весом около 20 т. При этом столь значительная масса турбины служит не столько для обеспечения высокой мощности энергоустановки, сколько для придания механизму значительной инерции, гарантирующей необходимое качество вырабатываемой электроэнергии в среде нестабильных воздушных потоков. Массивные турбины в силу их высокой инерции сглаживают пульсации ветряного потока и его шквальные порывы до 12 м/с, а при падении скорости ветра ниже критического значения и при безветрии длительное время продолжают свое вращение, что позволяет повысить качество электроэнергии, получаемой от ВЭУ. С другой стороны, большой размах лопастей делает такие турбины уязвимыми при сильном штормовом ветре (от 24,5 м/с) и тем более при урагане (от 32,6 м/с). При небольших средних скоростях ветра тихоходные ВЭУ более предпочтительны, так как благодаря большому количеству лопастей у тихоходного ветродвигателя возникает большой вращающий момент при малых скоростях ветра. У быстроходных ветродвигателей, наоборот, вращающий момент меньше (при малых скоростях ветра), следовательно, их целесообразнее применять в местах с большими



Контрроторная ВЭУ содержит опорную конструкцию (1) с поворотным узлом (2) и установленной выше него гондолой (3), в которой размещен общий для всего устройства вал (4) с жестко закрепленными на нем турбиной (5), ротором (6), инерционным маховиком (7) и бегунками (8) фрикционной, планетарной или иной механической передачи и преобразователя вращательного движения вала на противоположно направленное вращение заданного элемента. На тот же вал надет свободно вращающийся контрроторный узел в составе генераторной обмотки (9), инерционного маховика (10) и ведомого колеса (11) механически преобразующей передачи. Общий вал (4) с размещенными на нем элементами (5, 6, 7 и 8), контрроторный узел (9–11) вращаются в подшипниковых опорах (12)

скоростями ветра. Тихоходные ВЭУ начинают работать при скорости ветра 3–5 м/с, достигая значительного эффекта при 6–10 м/с, но при этом качество вырабатываемой электроэнергии низкое из-за неустойчивости по частоте и амплитуде напряжения.

Ветроустановки представляют собой интерес для энергоснабжения отдельно стоящих автономных объектов агропромышленного сектора, пограничных и неосвоенных территорий. Север Российской Федерации по своим ветровым параметрам идеально подходит для внедрения ветроустановки практически любой мощности в «северном» исполнении. В центральной полосе России, где более характерны слабые и умеренные ветра, внедрение крупных горизонтально-осевых ветроустановок не будет таким эффективным; при этом необходимо учитывать зависимость их работы от направления ветра, низкую годовую выработку энергии за счет относительно высокой стартовой скорости ветра и большого момента страгивания.

Список литературы

1. Безруких П. П., Безруких П. П. (мл.) Состояние, перспективы использования и проблемы развития возобновляемых источников энергии. // СОК. 2014. № 8.

УДК 620.97

Бибик И. С., Морохов Н. Д., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет,
turbina2rista@yandex.ru

СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Энергетика является одним из приоритетных направлений развития любого государства. При этом развитие цивилизации неразрывно связано с увеличением энергопотребления обществом в целом и каждым человеком по отдельности. Существуют определенные закономерности средней продолжительности жизни населения и уровня энергопотребления, которые красноречиво доказывают тесную связь между развитием страны и состоянием ее энергетической отрасли. Сегодня энергетика – это комплекс технологических процессов от разведки ископаемого топлива до его использования в любом производственном, бытовом процессе.

Однако увеличение энергопотребления ведет к истощению запасов полезных ископаемых топлив, таких как: уголь, нефть, газ, ядерное топливо. По мнению журнала «Energy Policy», нефть может закончиться через 10 лет, газ – через 22 года. Но не стоит забывать, что приведенные выше цифры носят вероятностный характер, точное количество мировых запасов невозобновляемых источников энергии неизвестно. Но динамика потребления полезных ископаемых растет с каждым годом. Одним из оптимальных выходов из этой непростой ситуации является освоение нового вида энергии. Одним из возможных новых источников энергии является энергия космоса. Космическая энергетика

– это вид альтернативной энергетики, предусматривающий использование энергии Солнца для выработки электроэнергии с расположением энергетической станции на земной орбите или Луне.

В 1968 г. американский специалист в области космических исследований Питер Е. Глэйзер предложил размещать крупные панели солнечных батарей на геостационарной орбите, а вырабатываемую ими энергию (порядка 5–10 ГВт) передавать на поверхность Земли хорошо сфокусированным пучком СВЧ-излучения, преобразовывать ее затем в энергию постоянного или переменного тока технической частоты и раздавать потребителям. Такая схема позволяет использовать интенсивный поток солнечного излучения, существующий на геостационарной орбите ($\sim 1,4 \text{ кВт/м}^2$), и передавать полученную энергию на поверхность Земли непрерывно, вне зависимости от времени суток и погодных условий. За счет естественного наклона экваториальной плоскости к плоскости эклиптики с углом $23,5^\circ$ спутник, расположенный на геостационарной орбите, освещен потоком солнечной радиации практически непрерывно, за исключением небольших отрезков времени – вблизи дней весеннего и осеннего равноденствия, когда этот спутник попадает в тень Земли. Эти промежутки времени могут точно предсказываться, а в сумме они не превышают 1 % от общей продолжительности года. Частота электромагнитных колебаний СВЧ-пучка должна соответствовать тем диапазонам, которые выделены для использования в промышленности, научных исследованиях и медицине. Если эта частота выбрана равной 2,45 ГГц, то метеорологические условия, включая густую облачность и интенсивные осадки, практически не влияют на КПД передачи энергии. Передающая антенна солнечной космической электростанции (далее – СКЭС) может представлять собой обратно-переизлучающую активную антенную решетку на основе щелевых волноводов. Ее грубая ориентация осуществляется механическим путем, для точного наведения СВЧ-пучка используется пилот-сигнал, излучаемый из центра приемной ректенны и анализируемый на поверхности передающей антенны сетью соответствующих датчиков.

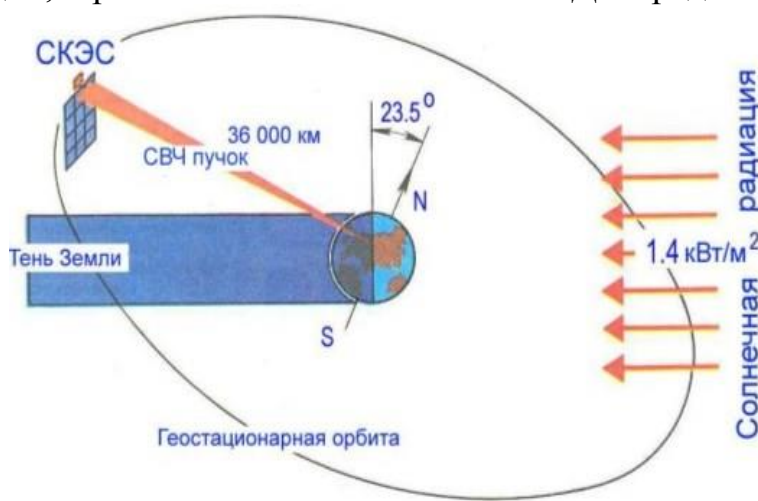


Схема солнечной космической электростанции

Достоинства СКЭС как одной из возможных энергосистем будущего:

- 1) СКЭС использует неистощимую (возобновляемую) энергию Солнца, т. е. того уже созданного природой термоядерного котла, благодаря которому существует все живое на нашей планете;
- 2) не расходуются ограниченные по размерам и ценные для технологических процессов будущего природные ресурсы Земли (уголь, нефть, газ и др.);

3) СКЭС обеспечивает минимальные тепловые потери (КПД ректенны может достигать 85–90 %), что довольно существенно: проблема теплового загрязнения является одной из наиболее крупных глобальных проблем, возникающих перед человечеством;

4) нет проблем, связанных с выбросами CO_2 . Отсутствуют какие-либо иные выбросы, загрязняющие атмосферу;

5) нет проблем, связанных с захоронением радиоактивных отходов и отработавших ресурсов радиоактивного оборудования;

6) микроволновый пучок СКЭС может легко перебрасываться с одной приемной системы на другую, обеспечивая тем самым возможность оперативного переключения территориально удаленных потребителей.

В 1978–1979 гг. в США под руководством Министерства энергетики (DOE) и НАСА (NASA) осуществлена первая государственная научно-исследовательская программа, направленная на определение перспектив СКЭС. В 1995–1997 гг. НАСА вновь возвращается к обсуждению перспектив СКЭС, опираясь на прогресс технологий, достигнутый к тому времени.

Вероятно, наиболее активно и планомерно исследования в области СКЭС проводила Япония. В 1981 году под руководством проф. М. Нагато и проф. С. Сасаки в Институте космических исследований Японии были начаты исследования по разработке прототипа СКЭС с уровнем мощности 10 МВт. В 2004 году в университете г. Киото проф. Х. Матсумото организовал Научно-исследовательский институт возобновляемой среды обитания человека (Research Institute for Sustainable Humanosphere). Одним из крупных направлений работ этого института являются исследования по тематике СКЭС. Франция, Канада, Россия, Германия и ряд других стран в той или иной мере также проводили исследования в области СКЭС. Уже накоплен определенный позитивный опыт международного сотрудничества в области управляемого термоядерного синтеза (ITER), создания и использования международной космической станции (ISS), разработки и создания пускового ракетного комплекса «морской старт» (Sea Launch) и др. Международное сотрудничество подобного типа могло бы оказаться весьма перспективным для разработки и создания экспериментального прототипа СКЭС с уровнем мощности 5–10 МВт. Эти работы, вероятно, займут 10–20 лет и могут быть основаны на использовании существующих или частично модернизированных ракетно-транспортных систем.

Полномасштабные коммерческие СКЭС (5–10 ГВт) по прогнозам ученых будут созданы, скорее всего, не ранее чем через 30–50 лет и потребуют транспортных средств нового поколения с существенно сниженной удельной стоимостью доставки грузов на орбиту. Такие транспортные средства неизбежно появятся в связи с назревающими общими тенденциями промышленного освоения космического пространства. Целенаправленные работы по линии СКЭС могут заметно ускорить этот процесс.

СКЭС – одна из наиболее перспективных, экологически чистых энергосистем будущего, которая не только базируется на широкомасштабном использовании самых современных технологий, но и будет эффективно стимулировать их развитие в дальнейшем.

Список литературы

1. Капица П. Л. Электроника больших мощностей. М. : Изд-во АН СССР, 1962.
2. Грилихес В. А. Солнечные космические энергостанции. Л. : Наука, 1986.
3. Нариманов Е. А. Космические солнечные электростанции. М. : Знание, 1991.
4. Будзинский Ю., Быковский С., Ванке В. Нетрадиционная вакуумная СВЧ-электроника на основе поперечных волн электронного потока // Электроника : НТБ. 2005. № 4.
5. Ванке В. А. Поперечные волны электронного потока в микроволновой электронике // Успехи физических наук. 2005. Т. 175. № 9.
6. Ванке В. СВЧ-электроника – перспективы в космической энергетике // Электроника : НТБ. 2007. № 5.

УДК 620.98

Бодрова Е. С., Нараева Р. Р.
Южно-Уральский государственный университет,
Lennok13@mail.ru, nar.ru@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Проблемы, связанные с нехваткой энерго мощностей региона (собственные энерго мощности составляют 64 %) и загрязнением окружающей среды всевозможными отходами, много лет стоят перед Челябинской областью.

Создание экологически, экономически и энергетически выгодного объекта на базе одного или нескольких возобновляемых источников энергии (ВИЭ) поможет решить эти проблемы.

Система двух объектов «Полигон твердых бытовых отходов – Мусороперерабатывающий комплекс» в ближайшем будущем расположится на территории Красноармейского района Челябинской области. Данная система двух объектов нуждается в электрической и тепловой энергии. Первым объектом является новый полигон твердых бытовых отходов (ТБО) с общим количеством поступающих на полигон отходов около 800 тыс. т в год. Вторым объектом является мусороперерабатывающий комплекс (МПК), расположенный на территории полигона ТБО в соответствии с концепцией развития города Челябинска и перерабатывающий около 150000 т отходов в год.

В настоящее время в Красноармейском районе, как и по всей Челябинской области, нет достаточных свободных мощностей для электроснабжения выбранной системы объектов, поэтому данная работа будет направлена на обеспечение надежного энергоснабжения системы объектов на базе возобновляемых источников энергии.

Требуемая площадь полигона, по нашим расчетам, составит 45 га, то есть 450000 м². Площадь участка складирования ТБО разбивается на очереди эксплуатации с определенными габаритами. Каждая из этих очередей эксплуати-

руется с учетом укладки пяти рабочих слоев ТБО, срок эксплуатации каждой очереди в среднем 4 года.

Полигон ТБО представляет собой большой биохимический реактор, в процессе эксплуатации в теле полигона, а также в течение нескольких десятилетий после его закрытия в результате анаэробного разложения отходов растительного и животного происхождения образуется свалочный биогаз [1].

В качестве возобновляемых источников энергии для энергоснабжения объектов предлагается использовать:

1) свалочный биогаз с полигона твердых бытовых отходов (потенциал получения свалочного биогаза 1500 м^3 в час);

2) солнечные модули, установленные на крыше мусороперерабатывающего комплекса, а после закрытия каждой очереди эксплуатации полигона ТБО – на самом теле полигона (потенциал солнечной энергетики Красноармейского района составляет $1100\text{--}1150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$);

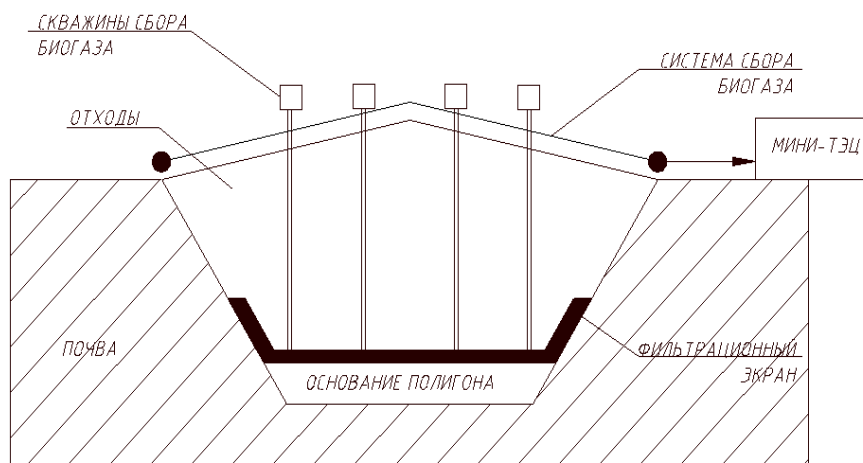


Рис. 1. Система сбора и утилизации свалочного биогаза с получением энергии

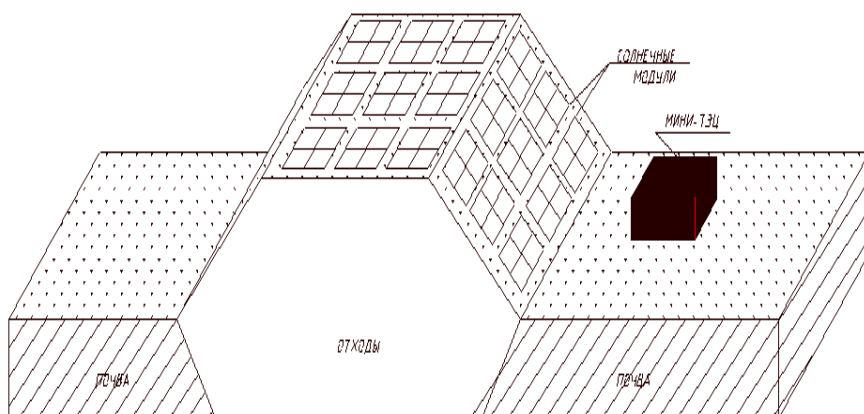


Рис. 2. Система сбора и утилизации свалочного биогаза с получением энергии после закрытия полигона ТБО и установленные на теле полигона ТБО солнечные модули

3) ветроэнергетические установки, расположенные на теле полигона, после завершения эксплуатации полигона ТБО (потенциал энергии ветра в Красноармейском районе составляет $6,63 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год).

Система сбора и утилизации свалочного биогаза с получением энергии приведена на рис. 1 [2].

На рис. 2 приведена та же система после закрытия полигона ТБО и установленные на теле полигона ТБО солнечные модули.

На рис. 3 приведена та же система после закрытия полигона ТБО и установленные на теле полигона ветроэнергетические установки.

Использование двух (трех) видов ВИЭ обусловлено следующим:

– выход свалочно-го биогаза непостоянен на всем протяжении процесса эксплуатации полигона ТБО, а после завершения срока эксплуатации полигона (примерно 20–25 лет) количество биогаза постепенно уменьшается;

– существует возможность использовать полигон после завершения срока эксплуатации под ветропарк или покрыть все тело полигона солнечными модулями (солнечная электростанция) для получения дополнительно энергии для объектов народнохозяйственного значения (близлежащие объекты сельского хозяйства, теплицы и другие производственные объекты).

Применение возобновляемых источников энергии в Челябинской области частично решит проблему энергозависимости от других регионов и позволит уменьшить экологическую нагрузку на окружающую природную среду.

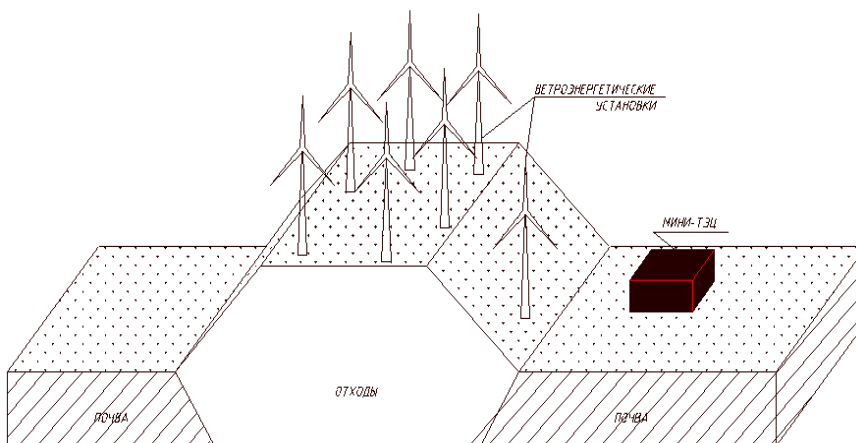


Рис. 3. Система сбора и утилизации свалочного биогаза с получением энергии после закрытия полигона ТБО и установленные на теле полигона ТБО ветроэнергетические установки

Список литературы

1. Бодрова Е. С. Использование свалочного биогаза в качестве топлива для автономного энергоснабжения // Возобновляемая энергетика: Пути повышения энергетической и экономической эффективности : материалы Первого Международного форума REENFOR-2013, 22–23 октября 2013 г. / под ред. д.-ра техн. наук О. С. Попеля. М. : ОИВТ РАН, 2013. С. 96–98.
2. Технологический регламент получения биогаза с полигонов ТБО. [Электронный ресурс]. URL: http://www.biointernational.ru/sites/default/files/tekhnologicheskii_reglament_polucheniya_biogaza_s_poligonov_tverdykh_bytovy.pdf (дата обращения: 08.11.2014).

УДК 662.767.2

Васенев В. В., Панчева Л. Ю., Телюбаев Ж. Б., Ильин Ю. П.
Челябинская государственная агроинженерная академия,
pvt.csaa@mail.ru

ОЦЕНКА ВЫХОДА БИОГАЗА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ БРОЖЕНИЯ НАВОЗА КРС В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ

Целью работы являлось установление взаимосвязей между длительным режимом анаэробного сбраживания навоза КРС при одноразовой загрузке и непрерывным циклическим режимом брожения в реакторах горизонтального типа биогазовых установок.

Выход биогаза из единицы объема субстрата зависит от перерабатываемого субстрата, от рабочих параметров установки (температуры в реакторе, времени брожения, загрузки, состава, установки, конструктивного исполнения метантенка) [1].

Задачей исследования было определение удельного выхода газа (м^3) на 1 т сухого органического вещества (max и min для навоза КРС) при трех режимах сбраживания и переработки (мезофильного [37 °С, 15 суток], термотолерантного [42 °С, 11 суток], термофильного [55 °С, 8 суток]) в диапазоне от начала выделения биогаза до устойчивого режима (табл. 1, рис.) [2].

Таблица 1

Выход биогаза из бака БГУ для различных режимов брожения

Сутки	Выход газа из бака БГУ (48 л), л/кг сухого органического вещества (СОВ)							
	Мезофильный режим		Термотолерантный режим			Термофильный режим		
	СОВ, кг	Выход биогаза, л	СОВ, кг	Выход биогаза, л (max)	Выход биогаза, л (min)	СОВ, кг	Выход биогаза, л (max)	Выход биогаза, л (min)
1	0,24	2,4	0,327	4,6	4,3	0,45	8,1	7,2
2	0,24	3,6	0,327	6,9	6,4	0,45	12,15	10,8
3	0,24	4,8	0,327	9,2	8,5	0,45	16,2	14,4
4	0,24	6,0	0,327	11,5	10,6	0,45	20,25	18,0
5	0,24	7,2	0,327	13,7	12,8	0,45	24,3	21,6
6	0,24	8,4	0,327	16,0	14,9	0,45	28,35	25,2
7	0,24	9,6	0,327	18,3	17,0	0,45	32,4	28,8
8	0,24	10,8	0,327	20,6	19,1	0,45	36,45	32,4
9	0,24	12,0	0,327	22,9	21,3			
10	0,24	13,2	0,327	25,2	23,4			
11	0,24	14,4	0,327	27,5	25,5			
12	0,24	15,6						
13	0,24	16,8						
14	0,24	19,2						
15	0,24	21,6						

Количество доз добавляемого субстрата составит:

- 1) сырье после пускового режима, начавшее давать газ 15 (11, 8) доз / 1 сутки брожения;
- 2) 1 доза добавляемой свежей массы (1 сутки брожения) +14 (10, 7) доз / 2-суточного брожения и так далее до стабилизации процесса загрузки и выгрузки на 15-е (11-е и 8-е) сутки (табл. 2).

Для обработки полученных данных были использованы следующие математические методы: аппроксимация, интерполяция полиномом Лагранжа, кубическая сплайн-интерполяция зависимости выхода биогаза от длительности брожения при загрузке навозного сырья крупного рогатого скота (КРС). Расчеты проводились в ПК MathCAD. Указанные методы позволяют проводить вычисления для различных точек зависимости при непрерывном процессе сбраживания сырья животного происхождения.

Таблица 2

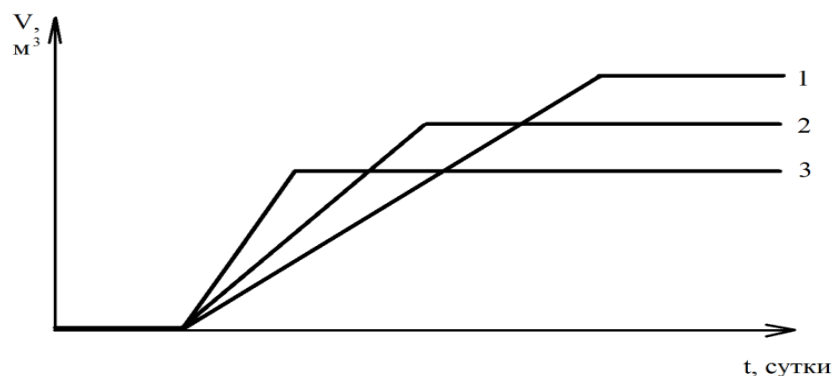
Максимальный и минимальный выход биогаза навоза КРС (max; min)
при 15, 11, 8 суточных ВОБ (время обращения биореактора), в пересчете на 1 т СОВ

Сутки	Выход газа, м ³ /т СОВ				
	Мезофильный режим	Термотолерантный режим		Термофильный режим	
		max	min	max	min
1	10	14	13	18	16
2	15	21	19,5	27	24
3	20	28	26	36	32
4	25	35	32,5	45	40
5	30	42	39	54	48
6	35	49	45,5	63	56
7	40	56	52	72	64
8	45	63	58,5	81	72
9	50	70	65		
10	55	77	71,5		
11	60	84	78		
12	65				
13	70				
14	80				
15	90				

Микробиологическое образование метана из различного рода органических материалов является широко распространенным, устойчиво протекающим в анаэробных условиях [3]. Первый этап – превращение жиров, углеводов и белков в простые органические кислоты при помощи кислотоформирующих бактерий. Второй этап – перевод кислот в метан и углекислоту за счет метаноформирующих бактерий. Предполагаемая модель позволяет описывать динамику метаногенерирующего консорциума достаточно адекватно и предсказывать поведение системы при различных начальных условиях, различных режимах и периодах времени [3].

Исходные данные (бак БГУ объемом 48 л) были получены коллективом исследователей в составе: Ю. П. Ильин, А. В. Белов, И. Б. Царев, Н. Ю. Кузьмина, Н. В. Рудных и членами студенческого научного общества (СНО) кафедры электроснабжения сельского хозяйства.

Количественная картина метаногенеза (см. рис.) реконструировалась на основе исследования динамики образования и расходования исходных, промежуточных соединений и конечных продуктов процесса с использованием биокинетического подхода [4].



Зависимость выхода биогаза от длительности процесса:
1 – процесс выхода биогаза для мезофильного режима;
2 – процесс выхода биогаза для термотолерантного режима;
3 – процесс выхода биогаза для термофильного режима

Выводы. Данные исследования являются необходимым дополнением к результатам ранее выполненных разработок и содержат материал для рационального использования БГУ горизонтального типа.

Список литературы

1. Ильин Ю. П., Кузьмина Н. Ю., Рудных Н. В. Энергетические возможности использования биогазовых установок в Челябинской области // Достижения науки – агропромышленному производству : материалы LI междунар. науч.-техн. конф. / под ред. д-ра техн. наук, проф. Н. С. Сергеева. Ч. V. Челябинск : ЧГАА, 2012. С. 72–81.
2. Дубровский В. С., Виестур У. Э. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. Рига : Зинатне, 1988. 204 с.
3. Варфоломеев С. Д., Гуревич К. Г. Биокинетика : практ. курс. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 1999. 720 с.
4. Оценка выхода биогаза при мезофильной переработке сенажа топинамбура в биогазовом кластере / Ю. П. Ильин [и др.] // Вестник ЧГАА. 2014. Т. 68. С. 39–50.

УДК 536.242

Власова В. А., Самышина О. В., Колибаба О. Б.
Ивановский государственный энергетический университет,
tevp@tvp.ispu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ СЛОЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Любой эксперимент по теплообмену должен отвечать следующим основным требованиям: возможности получения на опытной установке результатов, адекватных практическим целям; простоте и меньшей продолжительности и затратности опыта; минимальной погрешности измерительной схемы и наличию точной оценки этой погрешности; простоте и точности математической обработки получаемых результатов.

Наиболее точные результаты при изучении теплообмена дают методы физического моделирования. Экспериментальное определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи неоднородных по фракционному составу крупнодисперсных материалов методом физического моделирования вызывает ряд затруднений. Это обусловлено необходимостью соблюдения значительного количества требований, определяющих размеры исследовательской установки и характер проведения опыта.

Коэффициент теплоотдачи может быть отнесен не к единице поверхности, а к единице объема и определен из выражения критерия Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_s^2}{\lambda}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности газа; d_s – эквивалентный диаметр куска слоя ТБО.

В условиях эксперимента объем кусков слоя ТБО может быть установлен опытным путем непосредственно без какого-либо предположения о форме куска, что является наиболее верным с точки зрения точности получаемых результатов. Однако при этом возникнут трудности при практическом использовании полученных результатов, поэтому при обработке результатов необходимо делать допущение о форме куска.

В результате проведенных экспериментальных исследований, обработанных с использованием теории подобия, получено критериальное уравнение вида:

$$Nu = 1,24 \left(\frac{d}{H} \right)^{0,3} Re^{0,33} E^{-0,084}, \quad (2)$$

где E – симплекс, определяемый видом материала и учитывающий изменение влажности материала.

$$E = \frac{1-W}{W}, \quad (3)$$

где W – относительная влажность материала, %.

Выводы

1. На основе физического моделирования процессов нагрева и сушки слоя твердых бытовых отходов в термическом реакторе получено критериальное уравнение для расчета конвективного теплообмена.

2. Уравнение позволяет вычислить коэффициент теплоотдачи сложного многокомпонентного полидисперсного пористого слоя с учетом изменения влажности материала, что позволит в дальнейшем оптимизировать затраты энергии на процесс сушки.

УДК 621.22

Гаманов К. О., Попов А. И.
Уральский федеральный университет,
kostyaqz@mail.ru

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОТАРАННОЙ УСТАНОВКИ

В настоящее время многим отдаленным поселениям и индивидуальным фермерским хозяйствам, которым выделили новые земли вдали от централизованных сетей электроснабжения, требуются индивидуальные энергоисточники. Территория страны изобилует множеством малых рек и ручьев, гидроэнергетический потенциал которых не используется. Только на территории Свердловской области таких потоков более 18000.

В данной статье предлагается вариант повышения гидравлической эффективности малого потока за счет одновременного использования микроГЭС и гидротаранной установки.

Известно, что потребление электроэнергии в ночное время, как правило, в два и более раз меньше, чем днем. Предположим, что мощности микроГЭС недостаточно для полноценной работы фермерского хозяйства в дневное время: дополнительные киловатты на электрокухню, насосы, пилорамы и т.п. В таком случае целесообразно, используя гидротаранную установку, работающую в ночное время, накопить резерв воды в каком-либо верхнем резервуаре или в верхнем бьефе при наличии небольшой плотины и использовать его в дневное время.

Принцип работы гидроаккумулирующей электростанции заключается не только в общепринятом использовании энергии воды, но и в преобразовании электрической энергии, получаемой от других источников энергий (энергоузла), в потенциальную энергию воды. При обратном преобразовании накопленная энергия отдается в энергосистему главным образом для покрытия пиков нагрузки. В первом случае гидроаккумулирующая электростанция, потребляя избыточную энергию от электростанций в часы наименьших нагрузок в системе (обычно 7–12 ч/сут), перекачивает воду из нижнего питающего водохранилища в верхний аккумулирующий бассейн (зарядка станции). Во втором случае гидроаккумулирующая электростанция работает в часы максимального потребления энергии в системе (2–6 ч/сут). Расходуя воду из верхнего бассейна, она вырабатывает электроэнергию в систему (разрядка станции). Таким образом, одновременно происходит не только регулирование суточного графика нагрузок, но и закуп электроэнергии по низкой цене в ночное время на насосные нужды и выработка электроэнергии в часы её максимальной стоимости.

Первая гидроаккумулирующая электростанция, в нынешнем значении этого слова, появилась в США, штат Коннектикут в 1930 году. В России же первая ГАЭС мощностью 16 МВт появилась на Кубани в 1968 году. ГАЭС серьезных масштабов в России появилась к началу нового тысячелетия на р. Кунья, мощность составила 1200 МВт (Загорская ГАЭС). Загорская ГАЭС, потребляя избыточную электроэнергию в ночные часы и вырабатывая её в пиковое время, существенно облегчает работу энергосистемы и повышает её эффективность, даже при неизбежных потерях электроэнергии при гидроаккумулировании (КПД гидроаккумулирования Загорской ГАЭС составляет 73 %). При вырабатываемой мощности в 1200 МВ потребляемая мощность в насосном режиме составляет 1320 МВт. То есть, было бы достаточно неплохо хотя бы уменьшить потребляемую мощность, или, что значительно лучше, свести её к нулю.

Для МГЭС эта проблема решаема за счет гидротаранной установки (гидротаранного насоса) – механического устройства для подъема воды на значительную (до нескольких десятков метров) высоту.

Гидроаккумулирующие МГЭС с гидротаранной установкой могут быть сконструированы в местах, изолированных от централизованного электроснабжения.

Гидроударный насос предназначен для подачи воды из проточных источников, имеющих уклон, небольшие плотинки, запруды, пороги, перепады. Это

могут быть река, ручей, озеро или искусственный водоем, имеющий сток. Работает насос за счет энергии, которой обладает текущая вода.

Давление в основной трубе во время гидроудара значительно превышает атмосферное. Поэтому насос, использующий явление гидравлического удара, поднимает воду на значительно большую высоту, чем перепад высот в основной трубе. Гидротаран привлекателен своей простотой. Он не нуждается в подводе электроэнергии. В нем нет вращающихся частей. Труба с двумя клапанами, запитанная от ручья или положенная на дно реки: что может быть проще?

Технические характеристики источника. Для обеспечения нормальной работы насоса источник должен иметь уклон по руслу не менее 0,006 (6 см на 10 м длины русла) или подпор не менее 0,24 м. Дебет источника должен быть не менее 30 м³/ч. Практически это может быть даже ручей со спокойным течением шириной 0,5 м и глубиной 0,15 м.

Технические характеристики насоса. При минимальных параметрах источника и разгонной трубе диаметром 114 мм и длиной 20 м насос обеспечивает производительность $V = 3,5$ м³/ч и напор $H = 14$ м. При уклоне 0,035 или подпоре 0,7 м – $V = 5,4$ м³/ч и напор $H = 35$ м. Более высоких параметров можно добиться, увеличив высоту подпора или длину разгонного трубопровода. Диаметр разгонной трубы увеличивать не рекомендуется. Параметры насоса в пределах 70 % можно изменять с помощью регулировочного винта, установленного на разгонном клапане.

Следует учитывать, что параметры насоса в некоторой степени зависят от содержания в воде растворенных газов и взвеси органики.

Устройство и принцип действия гидроударного насоса. Насос состоит из следующих основных элементов: разгонной трубы, корпуса, разгонного клапана, рабочего клапана, аккумулятора. Вода из ручья попадает в разгонную трубу и при определенной скорости закрывает разгонный клапан. Под давлением воды открывается рабочий клапан и вода поступает в аккумулятор. При полной остановке воды в разгонной трубе рабочий клапан закрывается, а разгонный открывается. Цикл повторяется. Вода из аккумулятора под давлением сжатого в нем воздуха подается в водоразборную магистраль. Пульсации давления, возникающие из-за цикличности работы насоса, практически полностью исчезают в разборном трубопроводе.

Достоинства гидротарана. Гидравлические тараны обладают несколькими важными достоинствами, которые, в своё время, и обеспечили их довольно широкое распространение.

Прежде всего для их работы не нужно ни каких-либо двигателей, ни мускульных усилий. Будучи один раз установленным и запущенным, гидротаран может работать до пересыхания питающего потока (осушения питающего резервуара) или до механического износа деталей, которые в нём можно пересчитать по пальцам.

Во-вторых, для работы достаточно минимального перепада уровней, начиная с десятка-другого сантиметров, и относительно небольшого расхода воды (обычно от долей литра до нескольких литров в секунду).

В-третьих, несложные накопительные устройства в питающем резервуаре позволяют гидравлическому тарану работать и с ещё меньшим расходом воды, дожидаясь пока она накопится в необходимом количестве и только тогда совершая рабочий цикл. Благодаря этому гидротараны могут максимально эффективно использовать энергию потока как при большом расходе воды (в паводок), так и при очень малом (в межень). И водяные колеса, и турбины предназначены для работы с непрерывным потоком и в таких условиях не смогут работать в принципе – энергии накопленной порции воды, достаточной для гидравлического тарана, им может не хватить даже для того, чтобы сдвинуться с места, а их микроварианты, рассчитанные на минимальный расход воды, будут выдавать такую же мизерную мощность и тогда, когда питающий поток вновь станет полноводным.

В-четвертых, простота конструкции и минимум деталей обеспечивают выдающуюся надёжность и долговечность устройства – непрерывная работа без ремонта в течение 10 лет считалась вполне обычным делом.

Наконец, классический гидравлический таран можно собрать буквально «на коленке», практически в любой сельской мастерской, где чинят трактора и плуги. При этом он прощает многие ошибки в расчётах и изготовлении – за них придётся заплатить меньшей эффективностью и долговечностью, но не полной потерей работоспособности, – насос все же будет действовать. Единственное безусловное требование – это высокая прочность всех деталей.

Гидротаранную установку можно использовать не только для обеспечения нужд в часы нехватки электроэнергии, но и для обеспечения работы турбины, при недостаточной скорости речного потока. При поднятии воды на 1 м мы получаем скорость потока, равную 4,46 м/с, что достаточно для работы большинства микротурбин.

Список литературы

1. Пат. 2412302 Российская Федерация. Оpubл. 20.02.2011. Способ строительства малых гидроэлектростанций.
2. Пат. 2431758302 Российская Федерация. Оpubл. 20.02.2011. Способ получения электроэнергии и устройство для его реализации.
3. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 840 с.

УДК 697.24

Гильмутдинов Р. Ф., Зиганшин М. Г.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
ladidikzn@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ГАЗОВОГО ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

Экономичное использование энергетических ресурсов страны – важнейшая государственная и народнохозяйственная задача. В связи с этим представ-

ляет интерес как с экономической, так и с технологической точек зрения использование лучисто-конвективного теплообмена.

Стоимость энергоносителя, поступающего на отопление из централизованных источников теплоснабжения – районных котельных и ТЭЦ, приблизительно в два раза выше, чем стоимость эквивалентного по теплоте сгорания количества природного газа. Инфракрасные обогреватели экономичны и по расходованию энергоресурса вследствие возможности локального обогрева только тех зон, где находятся работники, а не всего объема помещения.

При лучистом отоплении в помещении температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций становится выше, чем при конвективном теплообмене, нагретые поверхности тоже начинают излучать тепло, и, как следствие, снижается температура воздуха [1]. Это ведет к снижению потребления энергоресурсов и соответственно выброса парниковых газов и других загрязнителей. Крупные теплогенерирующие установки, обеспечивающие централизованное теплоснабжение, являются и крупными источниками выброса загрязнителей в атмосферу городов. К примеру один котлоагрегат ПТВМ-180 выбрасывает с дымовыми газами не менее 6 тонн в сутки оксидов азота. Очевидно, что высокие трубы ТЭЦ и районных котельных, перебрасывая их на некоторое расстояние от источника выброса, не могут решить проблему охраны атмосферы от загрязнений. Поэтому перевод систем отопления на местные системы газового лучистого отопления даст не только экономию на затраты теплоснабжения, но и уменьшит количество выбросов-загрязнителей в атмосферу.

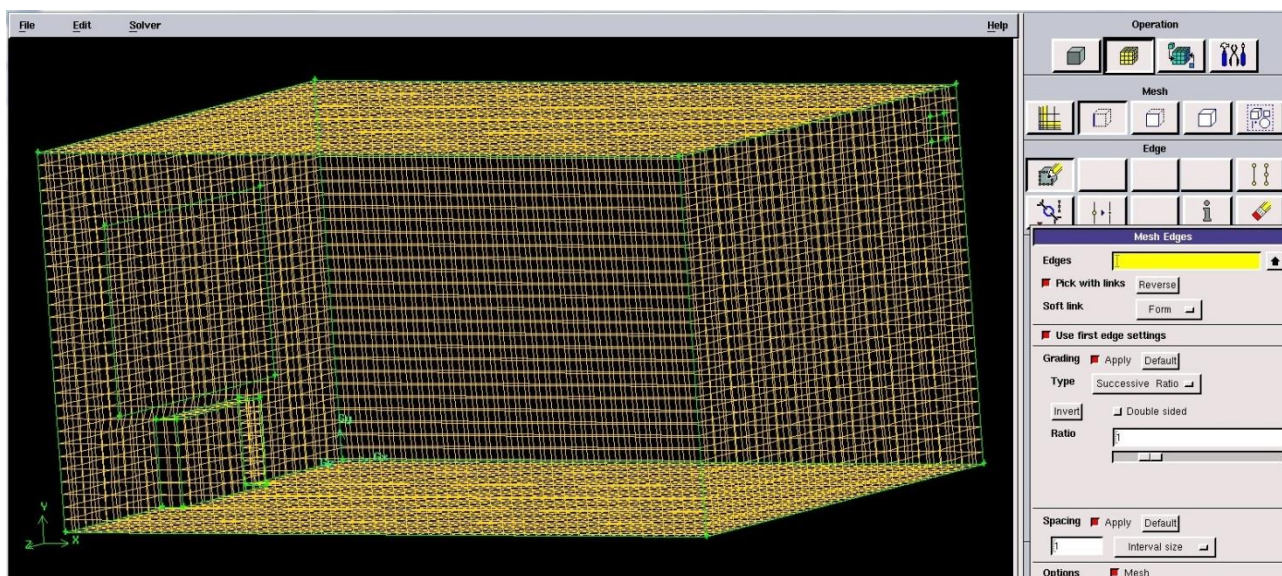
В производственных и промышленных помещениях используются «светлые» (с температурой излучающей поверхности более 600 °С) и «темные» (с температурой поверхности до 400 °С) излучатели. С их помощью можно обеспечивать необходимые производственные условия по микроклимату как в помещениях, так и на открытых и полукрытых площадках с хорошо проветриваемым пространством. Газовые инфракрасные излучатели включают в себя систему управления и безопасности, газогорелочный блок, элементы с нагреваемой при сжигании газа теплоизлучающей поверхностью, теплоотражающий экран [2].

В жилых и общественных помещениях более распространены газолучистые радиаторы. Они представляют собой индивидуальные отопительные приборы с герметичными по дымовым газам корпусами. Топка содержит газовую горелку и устроена так, что продукты сгорания не могут попасть в отапливаемое помещение; оно получает только лучистую и конвективную теплоту от наружных поверхностей радиатора. Воздух на горение поступает в топку за счет самотяги по воздушному патрубку, проходящему сквозь ограждающую конструкцию здания по месту установки прибора. Продукты сгорания удаляются по дымоходу, устроенному аналогично воздушному патрубку. Воздухозаборные каналы могут прокладываться совместно с дымоходами (конструкции типа «труба в трубе»), либо отдельно. Радиаторы этого класса могут быть также снабжены теплообменником для нагрева воды.

Для оптимизации системы отопления с газолучистыми радиаторами с повышением энергоэффективности использованы методы CFD (Computational

Fluid Dynamics), так как численный эксперимент в данном случае является наиболее удобным способом изучения задач аэродинамики и тепломассообмена в отопляемом помещении. Информация, которую можно получить в результате исследования численной модели, позволяет правильно понять физические эффекты на уровне, максимально приближенном к наблюдению явления на опыте.

Создана геометрия помещения с газолучистым радиатором в препроцессоре Gambit (см. рисунок), импортированная в программу ANSYS Fluent, реализующую методы CFD. Программа позволяет выполнять решение задач механики жидкости и газа, переноса тепла и массы.



Диалоговое окно препроцессора Gambit. Геометрия помещения с газолучистым радиатором

Для дальнейшего совершенствования систем газолучистого отопления в направлении экономичного использования энергетических ресурсов и снижения выбросов в атмосферу парниковых газов необходимо подробное изучение распределения конвективных и лучистых тепловых потоков внутри производственных и жилых помещений.

Вопросы энергетической и экологической безопасности с каждым годом становятся все более серьезным вызовом глобального характера устойчивому развитию. На недавно завершившемся саммите G20 в Брисбене были согласованы планы действий в области обеспечения энергоэффективности, которые включают новую работу в отношении контроля за выбросами вредных газов зданий. Такая задача актуальна для России и как для одного из основных участников «Группы двадцати».

Список литературы

1. Шаповалов И. С. Проектирование панельно-лучистого отопления. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1966. – 240 с.
2. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями. [Электронный ресурс]. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3556 (дата обращения: 20.11.2014).

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРУЗИОННОГО БРИКЕТИРОВАНИЯ ТОРФЯНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

В последнее время для окускования различных дисперсных материалов все более широкое применение в энергетике и металлургии находит технология жесткой экструзии. Создание новых технологических процессов производства экструзионных брикетов коренным образом изменит возможности переработки торфяного и техногенного сырья, позволит организовать производство экструзионных брикетов для использования в качестве топлива в энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве, а также в качестве топливно-плавильных материалов в металлургических процессах.

Применительно к производству торфяных экструзионных брикетов сбалансированный подбор качественных показателей исходного торфа и техногенного сырья является основополагающим принципом при разработке новых технологических процессов. Согласно основному положению физико-химической механики, конечные свойства дисперсной системы зависят от начальной структуры материала, и любому ее изменению соответствуют измененные конечные свойства системы.

При производстве экструзионных брикетов их структура по мере десорбции влаги из жидкообразного состояния переходит в твердообразное условно-пластичное, а затем в полутвердое и упругохрупкое с открытой пористостью. Структура экструзионных брикетов формируется под действием капиллярных и межмолекулярных сил. Объемная усадка брикетов в процессе сушки проходит в темпе обезвоживания. Газовая фаза практически отсутствует. Напряженное состояние к концу сушки снимается равномерным по всему объему смыканием контактов между частицами молекулярными водородно-водяными мостиками. В процессе структурообразования большую роль играют коллоидные частицы, способствующие более плотной упаковке. Однородная структура приводит к высокой термической и водной стойкости экструзионных брикетов.

Управление свойствами торфяных систем осуществляется многочисленными энерготехнологическими способами, при которых свойства дисперсных материалов регулируются энергозатратными воздействиями во взаимосвязи с технологическими приемами.

К числу основных способов, широко используемых в торфоперерабатывающих технологиях, относятся: шихтование, механическое диспергирование, экструзионное формование, гранулирование, прессование, механическое обезвоживание, сушка.

Важное значение при производстве экструзионных брикетов имеет качество подготовки шихты, которое оценивается однородностью фракционного состава и равномерностью распределения компонентов. Шихтование способствует равномерному распределению отдельных составляющих во всем объеме материала и обеспечивает формирование однородной структуры шихты.

Торфяные композиционные материалы, с точки зрения физико-химической механики, представляют собой твердообразный гетерогенный комплекс, в котором роль непрерывной фазы – пористой матрицы играет торф, а наполнителя – вводимые дополнительные компоненты, представляющие собой дискретные частицы.

Экструзионные топливные брикеты могут применяться в качестве топлива и восстановителя в металлургических процессах. Состав топливных углеродсодержащих брикетов должен обеспечивать высокую теплоту сгорания, необходимую механическую и термическую прочность, низкую водопоглощаемость при хранении. Комплексный анализ торфяных сырьевых ресурсов и возможных углеродистых наполнителей показал, что в наибольшей степени указанным требованиям удовлетворяет малозольный торф травяной, травяно-моховой и моховой групп.

УДК 662.73

Горбунов А. В., Копейцев А. М., Панасюк А. И., Атабаева М. А.
Уральский государственный горный университет,
albert3179@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

Развитие современного торфяного производства сопряжено с расширением областей применения торфа, с разработкой новых безотходных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексную переработку и селективную добычу сырья заданного качества.

Внутренний рынок России использования топливного брикета уже активно формируется и вскоре начнет расширяться. Топливные брикеты используются для отопления коттеджей, коммунальных котельных и являются прекрасным заменителем других твердых и жидких видов топлива. Кроме того, удобная форма топливного брикета для автоматизированной формы их сжигания с высоким КПД, технологии транспортировки, хранения, идентификации, удостоверения качества делает их применение все более привлекательным и выгодным.

Интерес к топливным брикетам обусловлен следующими факторами:

1. Теплотворная способность брикета составляет 4,3–4,75 кВт/кг, что в 1,5 раза больше, чем у древесины, и сравнима с углем.

2. Минимальные выбросы в атмосферу.

3. Конструктивные особенности котельных, работающих на брикетах, позволяют автоматизировать процесс получения необходимого количества тепловой энергии.

При сжигании 2000 кг топливных брикетов выделяется столько же тепловой энергии, как и при сжигании 957 м³ газа, 1000 л дизельного топлива или 1370 л мазута.

Топливные брикеты производятся из торфа, являющегося возобновляемым ресурсом. Такие виды, как нефть или газ, имеют ограниченные природные запасы, цена на них будет возрастать с каждым годом. Брикеты не случайно называются «облагороженным» топливом – при их сгорании выделяется большой объём тепла, горение протекает ровным слоем – так же, как при горении традиционных видов топлива (газ, уголь). Кроме этого, брикеты характеризуются высокой энергоконцентрацией при незначительном занимаемом объеме. Благодаря высокой плотности – 1,2–1,3 кг/дм³, такое топливо экономически оправдано перемещать на большие расстояния.

В связи с этим возникает вопрос: а как собственно изготовить топливный брикет и какое для этого оборудование применить? Что касается оборудования для переработки торфа, а именно сушки и брикетирования, то на рынке производителей данного оборудования в основном предоставляется информация по переработке древесины.

Достоверная информация о сушке именно торфа отсутствует. ООО «Региональная Биоэнергетическая Компания «ВЛАДИМИР»» совместно с компанией ООО «Нео Сمارт Энерджи» разработали концепцию, а впоследствии и реализовали несколько проектов, связанных с переработкой фрезерного торфа в топливный брикет. Основой является брикетный комплекс, который представляет собой самостоятельное производство от приема исходного сырья до выпуска конечной продукции – торфяного топливного брикета.

Брикетный комплекс – быстровозводимый объект, не требующий больших капитальных вложений на строительство зданий и сооружений и могущий располагаться на открытой площадке и эксплуатироваться как в летний, так и в зимний период.

В зависимости от исходных условий и пожеланий заказчика брикетный комплекс может иметь различную конфигурацию, и условно его можно разделить на следующие участки:

- приемки и складирования;
- сушки;
- брикетирования.

Участок приемки и складирования предназначен для подготовки и складирования исходного сырья, которое впоследствии используется при производстве топливного брикета. Поскольку для обеспечения стабильной работы брикетного комплекса требуется сырье с определенными параметрами, вопросу подготовки уделяется большое внимание. В зависимости от имеющейся на конкретном торфопредприятии инфраструктуры данный участок может иметь раз-

личную конфигурацию и включать в себя приемные бункеры, транспортеры различных видов и конструкций, системы сепарации, склады и т. д.

Участок сушки представляет собой конвективно-тепловую сушку барабанного типа с твердотопливным теплогенератором. Сушильный комплекс может иметь производительность по сухому сырью от 1000 до 2000 кг/ч.

Сушильные установки данного типа имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами сушильных агрегатов:

- возможность достижения широкого диапазона температуры сушильного агента с резким сокращением продолжительности сушки;
- лучшую степень использования тепла – расход топлива сокращается примерно в 2 раза по сравнению с расходом в установках, имеющих паровой калориферный нагрев воздуха;
- значительное удешевление сооружения сушильных установок, не нуждающихся в котельных и в калориферах. Устройство топки с топливоподачей примерно равно стоимости калориферного оборудования с паропроводной и конденсатопроводной системами, таким образом, исключается стоимость котельной;
- возможность быстрого строительства сушильных установок;
- снижение (примерно на одну треть и даже больше) стоимости сушки материала при прямом использовании дешевого тепла продуктов сгорания по сравнению со стоимостью сушки в аналогичных условиях, но с паровым нагревом.

В России существует только одно предприятие по производству брикетных прессов – это «Рязанский завод тяжелого кузнечно-прессового оборудования». Однако брикетные прессы данного производителя предназначены для выпуска брикетов прямоугольной формы. Применение прямоугольного брикета для сжигания в отопительных котельных является проблемой. Поэтому компания ООО «Нэо Сمارт Энерджи» при проектировании и изготовлении оборудования для производства, а впоследствии и сжигания, делает упор на брикеты цилиндрической формы. Производителей прессов цилиндрических брикетов в России нет. Компания ООО «Нэо Смарт Энерджи» в свое время делала мониторинг зарубежных производителей прессов, однако выяснилось, что оборудования для прессования торфа попросту не оказалось. В данный момент совместно с компанией Mutek Systemtechnik (Германия) был подобран, оптимизирован и испытан для прессования торфа брикетный пресс производительностью 1000 кг/ч брикета диаметром 75 мм, который является основополагающей единицей в составе брикетного комплекса.

Брикетный комплекс в своем составе имеет также систему АСУ. В целом комплекс представляет собой гибкое производство с возможностью контроля и регулирования многих параметров с целью оптимизации процесса сушки торфа и производства высококачественного топливного брикета из торфа.

Несмотря на наличие и доступность современных технологий по добыче и переработке торфа, отечественная торфяная промышленность пребывает сегодня в кризисном состоянии. Торф традиционно относится к местным ресурсам, используемым для решения отдельных вопросов конкретного региона.

Концентрация крупных торфяных запасов в отдельных регионах позволяет создавать мощные производства торфяной продукции для различных направлений использования. Активное развитие торфяной промышленности должно основываться на государственной поддержке, необходимость которой обусловлена целым рядом аспектов.

УДК 620.98

Денисов К. С., Хайретдинова Л. Р., Велькин В. И.
Уральский федеральный университет,
denser93@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «VizProRES» ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ВИЭ

Для повышения эффективности комплексных ВИЭ необходимо знать оптимальный состав основного и вспомогательного оборудования.

Назначение разрабатываемого продукта – осуществление расчета и выбор состава оборудования ВИЭ комплексной системы. Критерием оптимальности служит при этом минимальная стоимость выработки кВт·ч электроэнергии.

Технологические характеристики. Компьютерная программа для анализа состава оборудования ВИЭ «VizProRES» выполнена в среде «Adobe Flash Professional CS6» на языке программирования Action Script 3.0. [1] и экспортирована в формат «EXE» для удобства запуска на различных компьютерах.

Среда выполнения представлена на рис. 1.

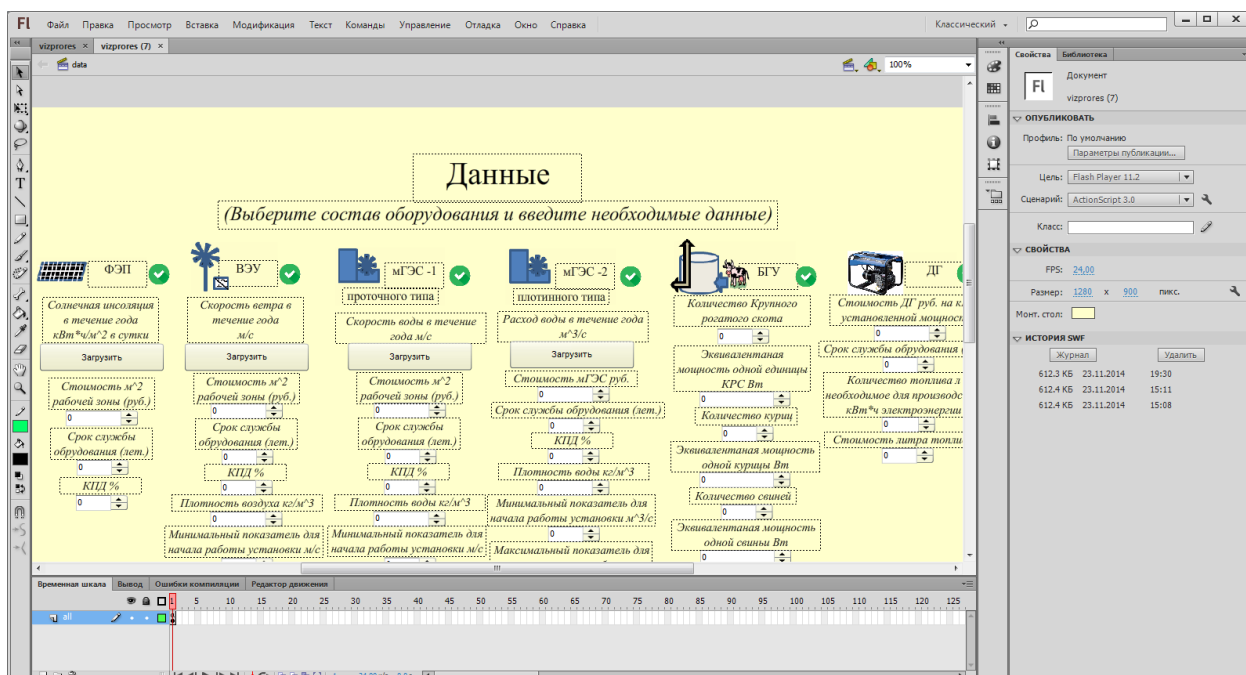


Рис. 1. Среда выполнения «Adobe Flash Professional CS6»













Описание работы программы. При запуске программы появляется стартовое окно программы, представленное на рис. 2. Для ввода данных необходимо нажать кнопку «Данные» после чего откроется окно ввода данных (рис. 3), в котором пользователь выбирает типы установок и задает их параметры.



Рис. 2. Стартовое окно программы «VizProRES»

Данные должны быть занесены в один столбец с разделением и переносом строк. В программе «VizProRES» существует возможность сохранения выбранных данных и загрузки ранее вводимых данных путем нажатия кнопок «Сохранить проект» и «Загрузить проект» соответственно.

Данные
(Выберите состав оборудования и введите необходимые данные)

 ФЭП  Солнечная инсоляция в течение года $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \text{ в сутки}$ Загрузить Стоимость м^2 рабочей зоны (руб.) 2500 Срок службы оборудования (лет.) 20 КПД % 12.5	 ВЭУ  Скорость ветра в течение года м/с Загрузить Стоимость м^2 рабочей зоны (руб.) 26500 Срок службы оборудования (лет.) 15 КПД % 35.2 Плотность воздуха $\text{кг} / \text{м}^3$ 1.225 Минимальный показатель для начала работы установки м/с 3 Максимальный показатель для возможности работы установки м/с 25	 МГЭС -1  проточного типа Расход воды в течение года $\text{м}^3 / \text{с}$ Загрузить Стоимость МГЭС руб. 68000000 Срок службы оборудования (лет.) 30 КПД % 90 Плотность воды $\text{кг} / \text{м}^3$ 1000 Минимальный показатель для начала работы установки $\text{м}^3 / \text{с}$ 1 Максимальный показатель для возможности работы установки $\text{м}^3 / \text{с}$ 8 Перепад высот м 10	 МГЭС -2  плотинного типа Расход воды в течение года $\text{м}^3 / \text{с}$ Загрузить Стоимость МГЭС руб. 68000000 Срок службы оборудования (лет.) 30 КПД % 90 Плотность воды $\text{кг} / \text{м}^3$ 1000 Минимальный показатель для начала работы установки $\text{м}^3 / \text{с}$ 1 Максимальный показатель для возможности работы установки $\text{м}^3 / \text{с}$ 8 Перепад высот м 10	 БГУ  Количество крупного рогатого скота 100 Эквивалентная мощность одной единицы КРС Вт 91.6 Количество курций 0 Эквивалентная мощность одной курицы Вт 0 Количество свиней 0 Эквивалентная мощность одной свиньи Вт 0 Стоимость БГУ руб. 5888000 Срок службы оборудования (лет.) 20	 ДГ  Стоимость ДГ руб. на кВт установленной мощности 37300 Срок службы оборудования (лет.) 15 Количество топлива з. необходимое для производства $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии 0.38 Стоимость литра топлива 32
---	--	--	--	---	--

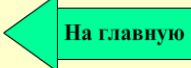
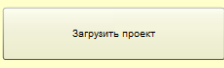
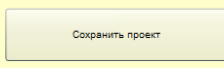
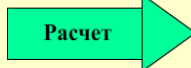
 **На главную**
 Загрузить проект
  Сохранить проект
  **Расчет**

Рис. 3. Окно ввода данных

После ввода всех необходимых для расчета данных осуществляется переход в окно расчета (рис. 4) нажатием кнопки «Расчет». Здесь осуществляется поиск оптимального состава оборудования при выбранном значении риска и необходимой среднесуточной выработки энергии. Параметр «риск» отражает неравномерность выработки энергии в течение года. Чем больше «риск», тем выше неравномерность выработки.

Расчет оптимального состава оборудования
*Задайте предельное значение риска для суммарного состава оборудования и необходимую среднесуточную энергию кВт*ч*

Предельное значение риска
≤ %

Необходимая среднесуточная энергия кВт*ч

Шаг расчета %

Рассчитать

1.5 %

300 кВт*ч

1 %

Состав оборудования	Количественный состав оборудования	Среднесуточная выработка энергии кВт*ч	Стоимость оборудования (без учета топлива) руб.	Стоимость топлива за год руб.	Стоимость кВт*ч электроэнергии руб.	Суммарная среднесуточная выработка энергии кВт*ч	Суммарная стоимость оборудования руб.	Суммарная стоимость кВт*ч электроэнергии руб.	Суммарный риск %
ФЭП	53.82 м ²	18	441346	0	3.36	300.84	6734496	3.13	1.46
ВЭУ	15.29 м ²	63	405150	0	1.17				
МГЭС-2 плот.	Нет	0	0	0	1.32				
БГУ	Да	219.84	5888000	0	3.67				
ДГ	0 кВт	0	0	0	12.44				

← Данные

На главную

Графика и анализ →

Рис. 4. Окно «Расчет оптимального состава оборудования»

Нулевой риск возможен при наличии только безрисковых источников энергии, таких как дизель-генератор, биогазовая установка, выработка энергии которыми может быть постоянна во времени [3]. Поиск осуществляется методом линейного программирования [1], путем перебора возможных вариантов ограниченными заданными параметрами и находится точка, соответствующая минимальной стоимости выработки кВт·ч электроэнергии. Найденные параметры выводятся на экран в текстовых полях.

Во вкладке «Графика и анализ» (рис. 5) осуществляется построение графика зависимости суммарной стоимости кВт·ч рассчитываемого состава оборудования от его риска, %. При этом выбирается диапазон графика как по риску, так и по стоимости, шаг расчета и шаг, с которым изменяется риск.

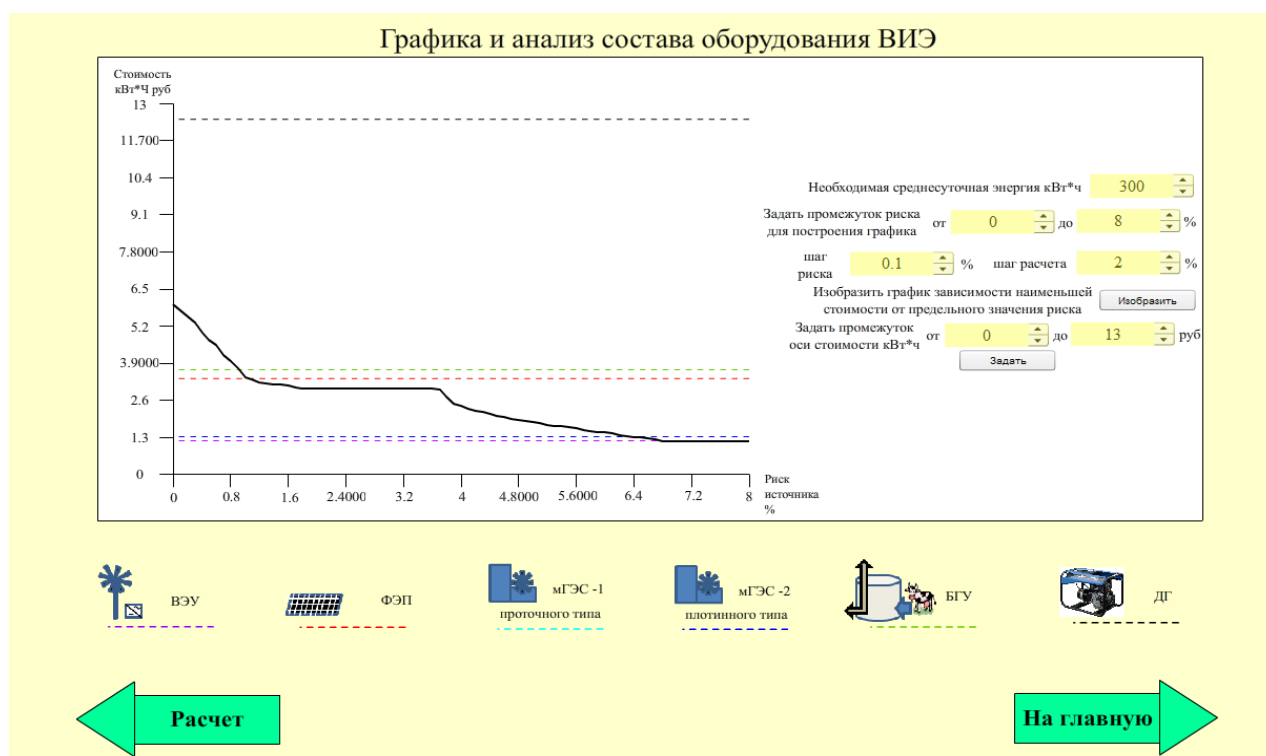


Рис. 5. Окно «Графика и анализ состава оборудования ВИЭ»

Список литературы

1. Васильев Ю. С., Кубышкин Л. И. Кудряшева И. Г. Компьютерные технологии в научных исследованиях и проектировании объектов возобновляемой энергетики: учебное пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 259 с.

УДК 697.7

Доскенов А. Х., Шерьязов С. К.
Челябинская государственная агроинженерная академия
arsen_doskenov@mail.ru

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Современные тенденции развития энергетики как мировой, так и отечественной, направлены на энергосбережение и эффективное использование энергоресурсов. Одним из путей является внедрение и совершенствование технологий, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [1].

Наиболее перспективным из числа ВИЭ является энергия Солнца, которая обладает рядом преимуществ, таких как неисчерпаемость, экологическая чистота, повсеместная распространенность и возможность преобразования как в электрическую, так и в тепловую энергию. При этом наиболее эффективным является применение солнечной энергии для нагрева теплоносителя в гелио-энергетических установках (ГЭУ) на базе солнечных коллекторов (СК), и их КПД может достигать до 80 % (вакуумные СК).

Как известно, система гелиотеплоснабжения имеет ряд недостатков, связанных с периодичностью поступления солнечной радиации как внутри года, так и в течение суток, и случайный характер их поступления, а также возможно несоответствие потребной тепловой энергии с уровнем поступающей солнечной энергии.

В системе гелиотеплоснабжения совместно используются солнечная энергия и традиционный источник на базе органического топлива (рис. 1). Для максимальной экономии топлива необходимо согласование режимов поступления солнечной энергии и потребления после ее преобразования.

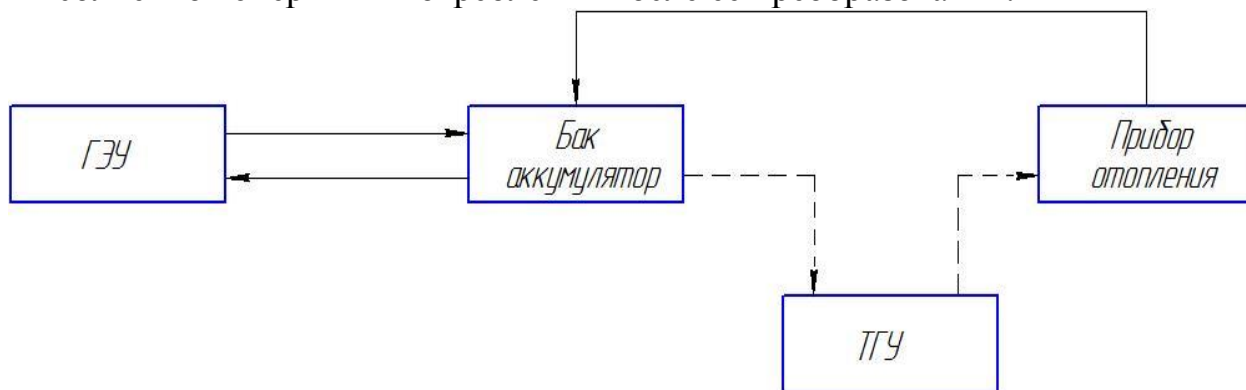


Рис. 1. Система гелиотеплоснабжения:
ТГУ – теплогенератор на органическом топливе

Максимум потребления тепловой энергии в холодное время года совпадает с минимумом поступления солнечной радиации и минимальной продолжительностью светового дня. В этом случае для согласования рассматриваемых режимов требуется аккумулятор тепловой энергии.

Для аккумуляции энергии возможно потребуется большая масса теплоносителя. При этом аккумулируемая энергия может быть низкопотенциальной и теплоноситель по температуре не будет соответствовать требованиям потребителя.

Включение в систему гелиотеплоснабжения теплонасосной установки (ТНУ) по изложенной ниже схеме (рис. 2) позволит использовать низкопотенциальную тепловую энергию саккумулированного теплоносителя [2].

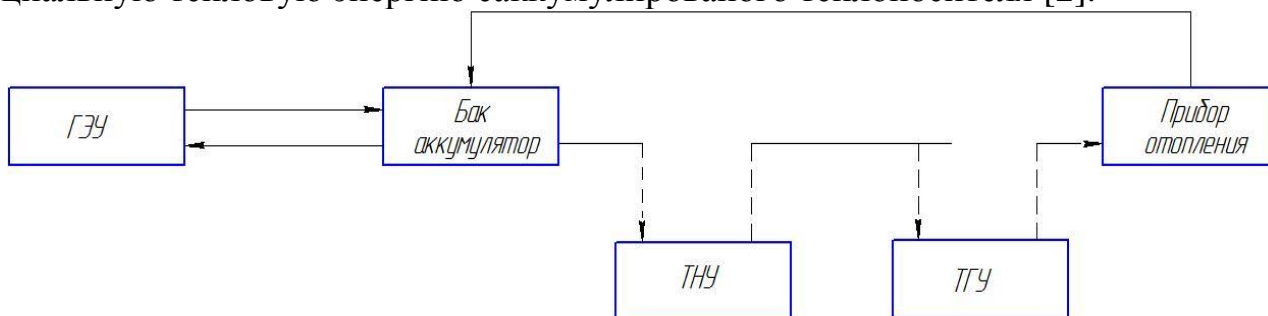


Рис. 2. Система гелиотеплоснабжения с использованием ТНУ

Ожидаемым итогом включения ТНУ в систему гелиотеплоснабжения является повышение эффективности ГЭУ и соответственно увеличение доли замещаемой энергии.

Работа комбинированной системы возможна в нескольких режимах. При наличии достаточного количества поступающей солнечной радиации возможна аккумуляция большого количества тепловой энергии. Температурный уровень теплоносителя будет соответствовать требованиям потребителя, что позволит подавать его к потребителю. Потребность в тепловой энергии будет полностью обеспечена за счет солнечной радиации.

При недостаточном количестве солнечной энергии, температурный уровень теплоносителя будет ниже, что не позволит подавать его к потребителю напрямую. Тогда включается в работу ТНУ, которая повышает температуру теплоносителя, поступающего к потребителю. При этом потребность в тепловой энергии будет обеспечена за счет энергии солнечной радиации в аккумуляторе и работы ТНУ.

В случае отсутствия солнечной радиации или полной выработки аккумулятора с помощью ТНУ температурный уровень теплоносителя снизится, вследствие чего работа ТНУ будет неэффективна. Тогда потребность в тепловой энергии будет обеспечена за счет энергии ТГУ.

Для эффективной работы данной схемы необходимо решить определенные задачи. В их число входят такие параметры как оптимальная площадь ГЭУ, объем аккумулятора тепловой энергии, а также мощность ТНУ.

Для анализа предложенной системы комбинированного гелиотеплоснабжения разрабатывается математическая модель, учитывающая параметры каждого элемента и совокупность всех элементов в целом. На основе математической модели предлагается создание имитационной модели.

Список литературы

1. Шерьязов С. К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография. Челябинск : ЧГАУ, 2008. 300 с.
2. Шерьязов С. К., Доскенов А. Х. Система солнечного теплоснабжения с теплонасосной установкой // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: сб. материалов Всерос. студенч. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. 17–20 декабря 2013 г. Екатеринбург : УрФУ, 2013. С. 372–374.

УДК 621.352.6

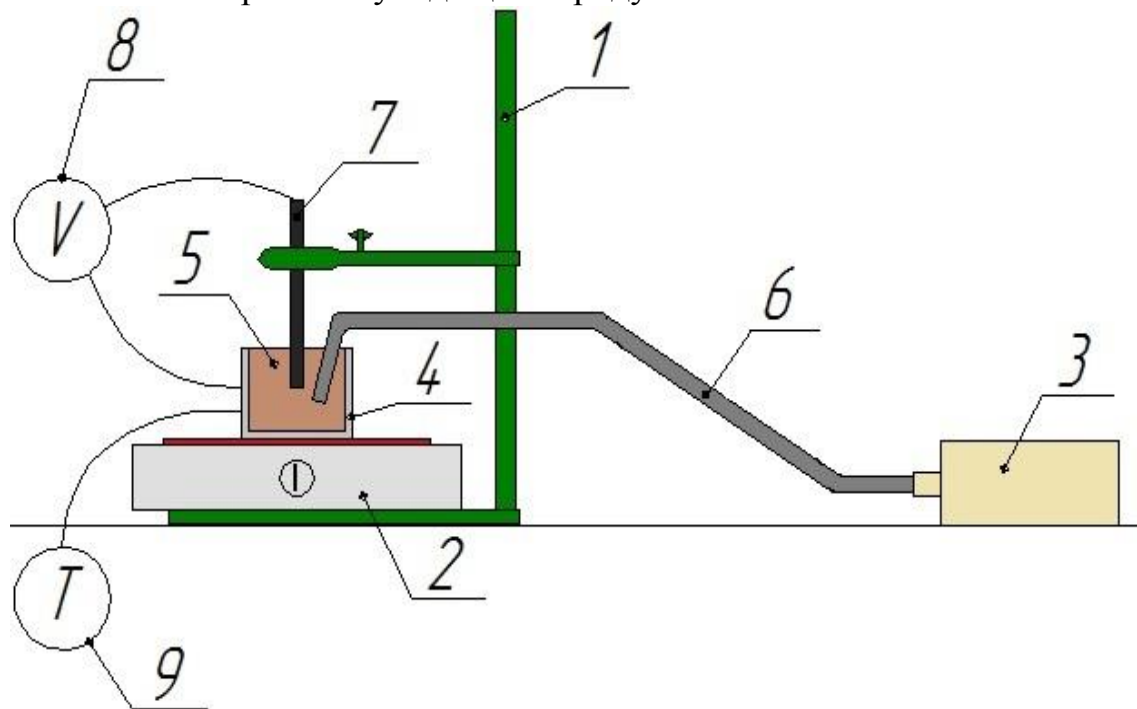
Дюльдин А. А., Масленников Г. Е., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет,
exwoka@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПО ТЕХНОЛОГИИ DIRECT CARBON FUEL CELL

В последнее время возросло внимание к установкам нетрадиционной энергетики, в том числе к топливным элементам. В данный момент времени топливные элементы разрабатываются для широкого применения (от стационарных до транспортных установок). По словам австралийского ученого С.

Гидди, сейчас как раз многие конструкции топливных элементов проходят коммерческие «полевые» испытания для использования в различных целях. В топливных элементах электрический КПД колеблется в пределах 40–60 % (для газообразных и жидких топлив). Наиболее распространены топливные элементы, работающие на водороде, преимущественно получаемом путем расщепления воды, или синтез-газе, выделяемом из газифицируемой биомассы. Нестабильность цен на нефть, ограниченные запасы газа и с каждым годом все более возрастающая озабоченность состоянием окружающей среды приводят к поискам новых способов получения электрической энергии, как, например топливных элементов с прямым окислением угля. Топливные элементы преобразуют химическую энергию углерода (запасы которого больше, чем газа и нефти) непосредственно в электрическую, через прямое электрохимическое окисление.

Структура топливного элемента технологии *DCFC* (*Direct Carbon Fuel Cell*) идентична структурам топливных элементов. По технологии *DCFC* состоит из катода и анода, разделенных ионопроводящим электролитом. Анодом является твердое топливо, которое реагирует непосредственно на электроде с образованием газообразного уходящего продукта.



Принципиальная схема установки:

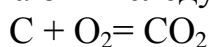
- 1 – штатив; 2 – электрическая печь; 3 – компрессор; 4 – стакан из нержавеющей стали (катод);
 5 – электролит; 6 – воздухоподводящая трубка; 7 – графитовый электрод (анод);
 8 – вольтметр; 9 – термометр с термопарой

Существует три основных типа топливных элементов по технологии *DCFC*, находящихся в данное время в разработке, различаемых по типу используемого электролита: расплавленный гидроксид, расплавленный карбонат или твердая ионопроводящая керамика. Первый тип топливных элементов использует расплавленный гидроксид KOH, NaOH в качестве электролита, который находится внутри металлического контейнера, выступающего также в качестве катода. Углеродный стержень погружается в электролит и используется одно-

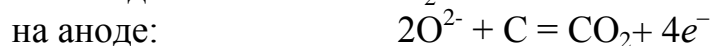
временно как топливо и как анод ячейки. В установке совмещен анод и топливо, используется графитовый электрод. Графитовый стержень был взят по причине его отличной электрической проводимости. Катодом выступает стакан из нержавеющей стали. Нержавеющая сталь является отличным проводником и практически не подвержена коррозионному воздействию электролита.

В качестве электролита выступает расплав гидрооксида натрия. Подвод кислорода к зоне окисления осуществляется подачей воздуха через железную трубку. Нагнетание воздуха осуществляется работой компрессора. Мощность компрессора и диаметр воздухоподводящей трубки должны обеспечивать оптимальный барботаж без разбрызгивания. Электрическая печь должна греть до 400–500 °С. Для теплоизоляции стакана в опыте была применена каолиновая вата.

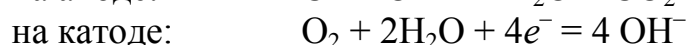
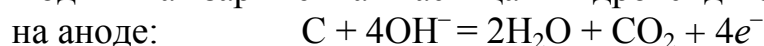
Для того чтобы данный топливный элемент работал с максимальной эффективностью, общая реакция должна быть следующей:



с промежуточными реакциями:



Подвижная заряженная частица – гидроксид-ион и реакции в ячейке:



В ходе реакции идет образование солей и эфиров угольной кислоты, что негативно сказывается на работе топливного элемента. Понимание процесса карбонизации приписывается ученому Горету, который предположил, что образование карбоната происходит посредством:

- химического процесса: $2\text{OH}^- + \text{CO}_2 = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- либо электрохимического процесса: $\text{C} + 6\text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e^-$

Для нейтрализации реакции карбонизации требуется добавление воды, которая увеличивает ионную проводимость расплавленного электролита и препятствует образованию карбонат-ионов в электролитах на основе NaOH. Следовательно, добавление воды практически необходимо для поддержания электролита в «чистом» виде и для увеличения работы топливного элемента. Реакция гидролиза будет выглядеть следующим образом:



Измерения производились с помощью прибора комбинированного цифрового Щ4300 с выносным щупом-индикатором. Для взвешивания угольного стержня применялись весы ВЛТЭ–310. С помощью термопары типа ТНН (N) была измерена температура. Проведение экспериментов также не представлялось возможным без использования приточно-вытяжной вентиляции и компрессора с регулируемой мощностью подачи воздуха. Для этих целей использовался воздушный компрессор GALE–50 (Aurora). Полученные данные представлены в таблице.

Экспериментальные данные

Показатели	Химические элементы		
	NaOH	KOH	NaOH:KOH
ЭДС (В)	1,17	0,98	1,07
Сила тока (I , А)	0,195	0,175	0,183
Нагрузка (U , В)	0,9	0,75	0,83
$\eta_{\text{э}}$ (КПД электрический)	0,77	0,76	0,77
$\eta_{\text{р}}$ (КПД реальный)	0,52	0,47	0,48
Удельный расход топлива (ΔM , кг/кВт·ч)	35,8	40,5	38,2
Температура начала реакции, °С	450	250	350

Технология *DCFC*, несомненно, имеет право на существование. Ряд солидных преимуществ топливных элементов с прямым окислением угля позволяет надеяться, что крупные компании все же обратят на нее внимание, что будет способствовать скорейшему разрешению всех существующих проблем, которые мешают коммерциализации и распространению этой технологии.

Согласно оценкам, затраты на установку, работающую по данной технологии, будут составлять около 2 тыс. долл. на кВт установленной мощности, что делает ее конкурентоспособной по сравнению с другими технологиями генерации на базе угля с учетом ее более высокой эффективности и малых затрат на улавливание углекислого газа.

Список литературы

1. A comprehensive review of direct carbon fuel cell technology / S. Giddey, S.P.S. Badwal, A. Kulkarni, C. Munnings // Progress in energy and Combustion Science. 2012. № 38 (3). P. 360–399.

УДК 536.7

Жуков А. В., Петров А. С., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
ale772009@yandex.ru

СИСТЕМА ПАРОВОГО РЕГУЛИРУЕМОГО НАГРЕВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УЧАСТКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ТЕРМОСИФОНА

При проведении исследований тепловых характеристик вертикальных термосифонов возникает задача точного определения передаваемой мощности от изотермического источника тепла к системе охлаждения. Использование методов нагрева с помощью организации конвекции либо электрического обогрева приводит к существенной неравномерности температуры стенки по длине обогреваемого участка и не обеспечивает требуемых условий изотермичности зоны нагрева [1].

В настоящей работе приводится описание системы обогрева на основе парового регулируемого нагрева рабочего участка термосифона. Общая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Принцип работы парогенератора основан на выделении тепла посредством ТЭНов и передачи его через стенки трубок воде. Управление уровнем в ЭПГ происходит посредством обработки сигнала с датчика уровня, встроенного в парогенератор, и реле времени, обеспечивающее задержку повторного включения. Вода проходит через вентиль ВН1, очищается в сетчатом фильтре, проходит обратный клапан, электромагнитный клапан, питательный насос и попадает в парогенератор. При достижении нижнего датчика уровня включается ТРМ, который открывает симисторы посредством БКСТ (блока управления симисторами). Контроль уровня воды осуществляется прибором САУ-М7е. Предельный максимальный объем воды контролируется датчиками уровня: при достижении уровня воды датчика «верхнего уровня» автоматически отключается подпитка котла и закрывается электромагнитный клапан. Вода, попадая в парогенератор, нагревается, испаряется и выходит к потребителю. При достижении заданного значения давления, установленного на ТРМ, начинается ограничение мощности с целью поддержания давления на заданном уровне. При падении воды ниже датчика «нижнего уровня» ТРМ отключается.

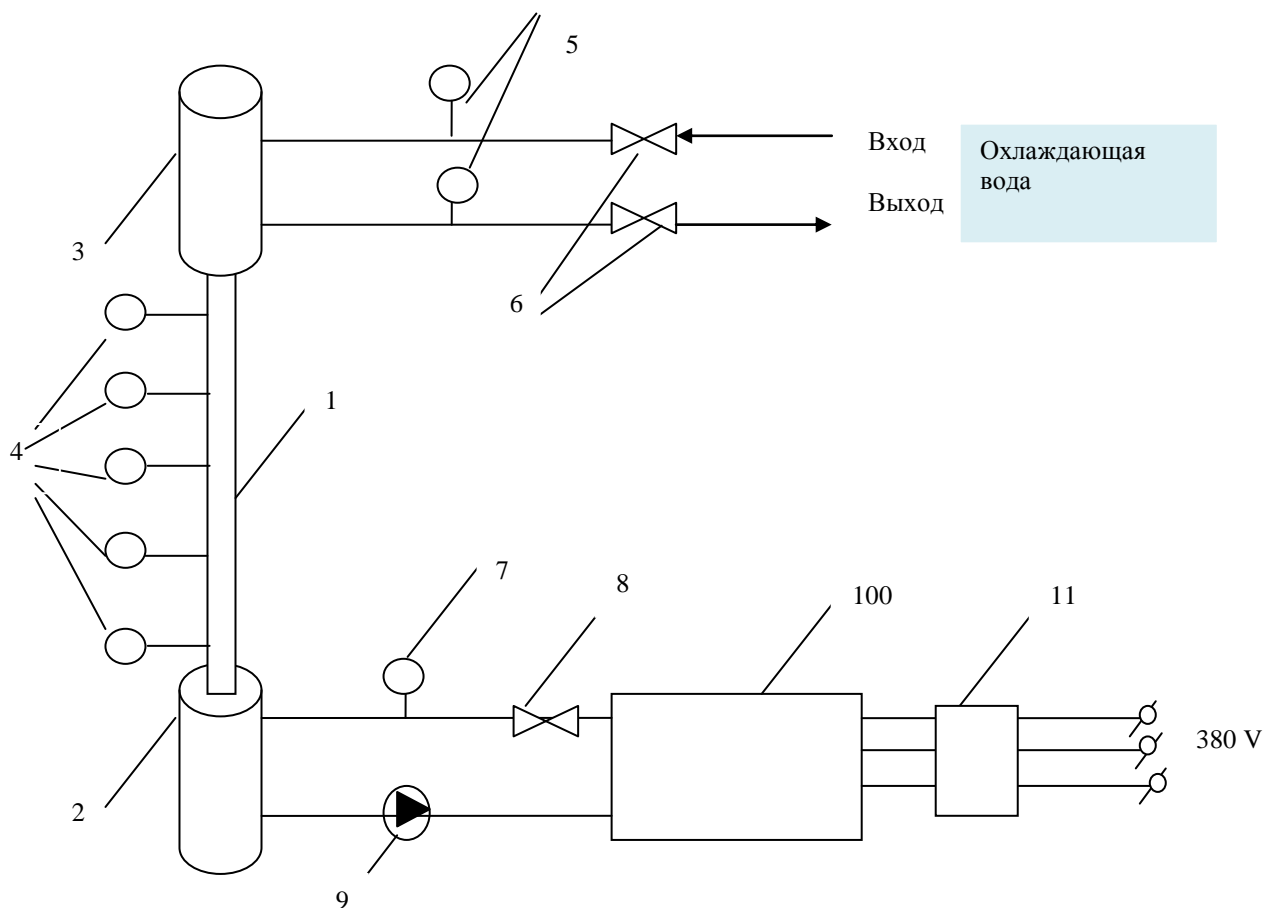


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки:

- 1 – термосифон, 2 – камера нагрева, 3 – камера охлаждения, 4, 5 – датчики температуры,
6, 8 – регулирующие вентили, 7 – манометр, 9 – насос, 10 – парогенератор,
11 – электросчетчик

В состав входит: корпус парогенератора с ТЭНами; фильтр; обратный клапан – 2 шт.; предохранительный клапан – 1 шт.; щит управления; электро-

магнитный клапан; датчик давления; насос PQm-100; запорная арматура; электрооборудование и КИПиА.

Принципиальная схема парового котла с системами защиты и регулирования приведена на рис. 2. Основные технические характеристики системы приведены в таблице.

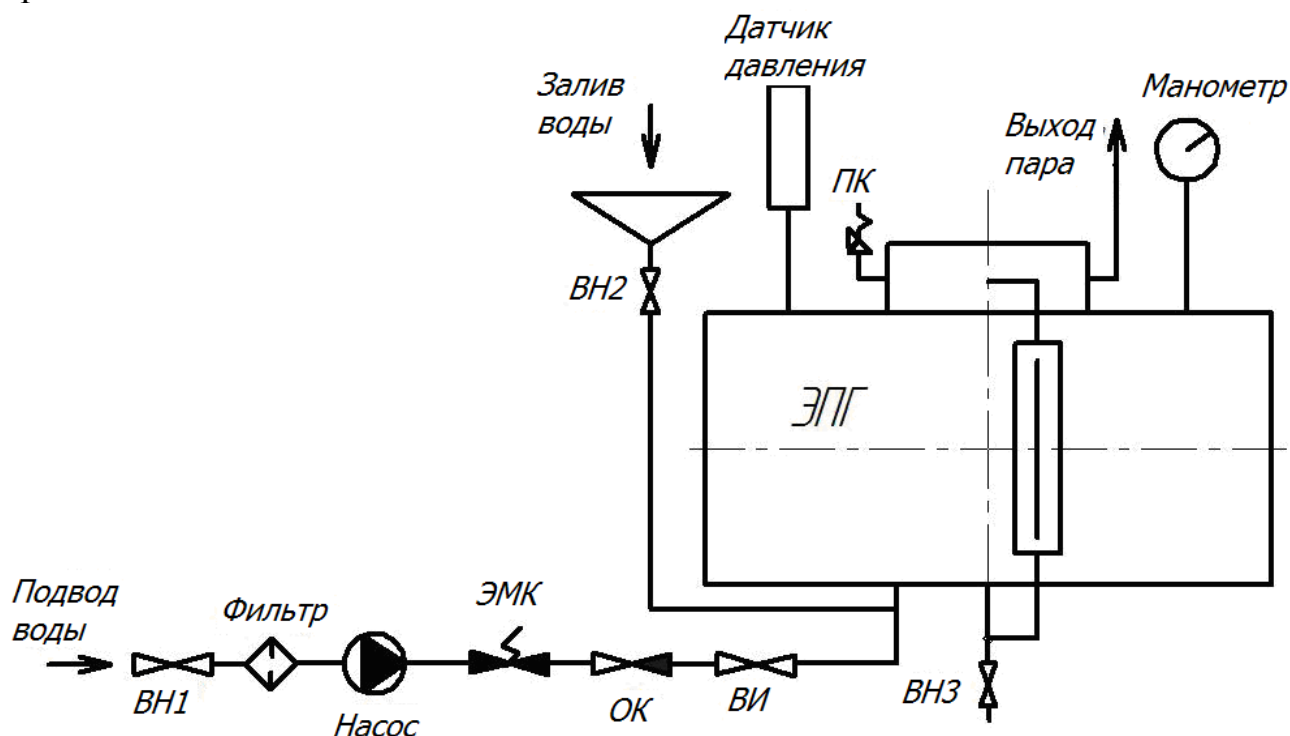


Рис. 2. Гидравлическая схема:

ОК – обратный клапан; ПК – предохранительный клапан; ВН1 – вентиль входа воды; ВН2 – вентиль для заливки воды; ВН3 – вентиль продувки, слив; ВИ – вентиль игольчатый

Технические характеристики

Тип	Паропроизводительность, кг/ч	Мощность, кВт	Номинальный ток, А	Максимальный ток	Макс. давление, атм.	Макс. температура, °С	Масса, кг
ЭПГ-10ф	15	10	15	17	10	180	70

Разработанная схема нагрева позволяет осуществлять нагрев термосифона водяным паром до температур 120–130 °С (по условиям защиты от превышения давления). При необходимости получения более высоких температур в контуре парового котла могут быть использованы кремнийорганические теплоносители с более высокими температурами насыщения.

Список литературы

1. Стырикович М. А. Методы экспериментального изучения процессов генерации пара : учеб. пособие / М. А. Стырикович, М. И. Резников. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1977. – 280 с.

РАЗРАБОТКА КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА И ОЦР-ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕЙ НА БИОТОПЛИВЕ ВЛАЖНОСТЬЮ ДО 40 %

В лесном хозяйстве страны существует проблема утилизации отходов. Только в Свердловской области, для примера, ежегодно образуется более 270 тыс. куб. м отходов лесопильных производств. Большая часть их вывозится на незаконные свалки. Сейчас бизнес не заинтересован в том, чтобы организовывать переработку отходов на месте, а вывозить их из-за серьезных транспортных расходов невыгодно. Особенно это касается мелких лесопилок. С другой стороны, предприятия лесоперерабатывающей отрасли испытывают дефицит электрической мощности при расширении производства [1].

Весьма значительна в малом электроснабжении задача обеспечения энергией удалённых мест проживания. Когда, например, за 10 км тянется ЛЭП для энергообеспечения 50–100 человек (проблема обслуживания линии, кап. затраты). Ветряные и солнечные источники альтернативной энергии далеко не всегда могут использоваться в ряде регионов нашей страны по климатическим условиям (в частности, в Свердловской обл.).

Для решения этой проблемы можно сформулировать следующее предложение: использовать отходы деревоперерабатывающей промышленности для получения тепловой и электрической энергии.

Из существующих решений можно выделить три основных направления:

1) Сжигание. Неэффективно при различных значениях влажности отходов, характеризуется низким КПД установок. Большой объём установок, сложность регулирования вырабатываемой мощности. Экологически «грязный» метод.

2) Утилизация. Имеют место только затраты без какого-либо полезного эффекта. Возникает необходимость в значительных территориях под складирование и захоронение отходов производства, нарушается экосистема лесов.

3) Пиролиз. Получаем высоколиквидный синтез-газ, удобный для дальнейшего использования. Калорийность синтез-газа выше, чем у первичного топлива. Также имеется возможность подготовки исходного топлива за счет использования низкопотенциального тепла газогенератора [2].

На основе сравнительного анализа особенности каждого из методов можно сделать вывод о целесообразности применения пиролизной газогенераторной установки (рис. 1). В настоящее время, учитывая появление новых материалов, а также элементов систем автоматизации процессов горения, мы имеем возможность управлять процессом горения и составом генераторного газа, что

позволяет снизить требования к подготовке первичного топлива. Таким топливом могут быть деревянные бруски, опил, щепа, кора.

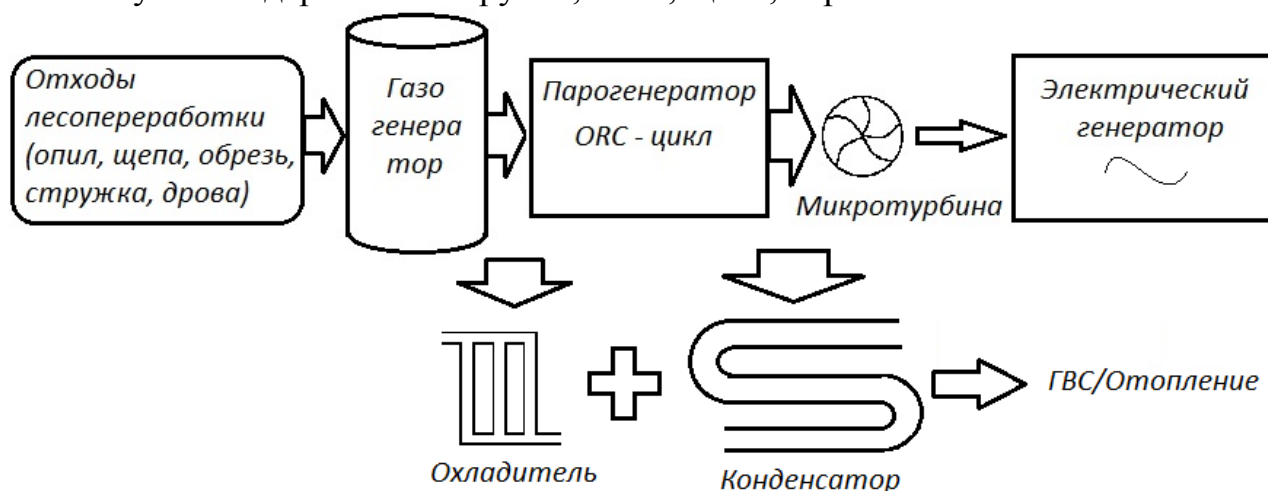


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Принцип работы газогенераторной установки следующий: биотопливо загружается в газогенератор для получения генераторного газа. Полученный газ используется для нагрева рабочего тела ОЦР-парогенератора и для подготовки первичного биотоплива. Выходной пар вращает турбину, соединённую с валом электрогенератора. Электрогенератор может работать автономно, либо параллельно с сетью. В качестве рабочего тела ОЦР-электрогенератора (органический цикл Ренкина) используется хладагент R245fa с температурой испарения 121 °С при давлении 19,6 бар. Паровая фаза данного хладагента позволяет использовать низкие температуры для выработки электрической энергии, при этом снижается эрозия элементов установки.

В отличие от существующих образцов газогенератор оснащается установкой системы управления подачей воздуха и пара с обратной связью по химическому составу генераторного газа, его расходу и температуре в зоне горения (рис. 2). Система управления используется для стабилизации процесса газификации, обеспечения требуемого химического состава генераторного газа, защиты котла от перегрева, а также система управления позволяет снизить требования к используемому топливу (увеличение диапазона допустимой влажности топлива с 0–14 до 0–40 %).

Установка оснащается газоанализатором с каналами измерения CO, CO₂, H₂; расходомером и датчиками температуры газа и зоны горения. Контроллер формирует управляющие сигналы для систем подачи пара/кислорода в активную зону горения. Контроль температуры газа необходим, так как при определённых температурах усиливаются реакции окисления. Реакции окисления смещают содержание «ненужного газа» CO₂ в сторону увеличения, а горючего газа CO – уменьшения. Более того, сам котёл может перегреваться и выходить из строя, что крайне нежелательно. Снижение же температуры газификации топлива ведёт к нестабильной выработке мощности [3, с. 24]. Управление подачей воздуха и пара осуществляется в зависимости от химического состава генераторного газа, его расхода и температуры в зоне горения.



Рис. 2. Паровой цикл установки

Новизна предлагаемого решения заключается в использовании в когенерационной установке высоколиквидного промежуточного топлива – генераторного газа, который может быть использован при получении электрической энергии, в технологии подготовки первичного биотоплива, а также газовых водогрейных котлах. Низкокипящая жидкость в паровом цикле позволяет использовать низкие температуры кипения, что, кроме всего прочего, ведет к возможности производства установок малой мощности. В самом же газовом генераторе применён особый алгоритм, реализованный в системе управления процессом газификации через контроллер. Когенерационный способ, использованный в данной установке, эффективнее раздельного использования топлива на 30–35 % [4].

Среди альтернатив и конкурентов данной разработки можно выделить три основных типа: дизель-генераторы, биогазовые установки, импортные газогенераторы. Дизель-генераторы используют в своей работе дорогое первичное топливо – ДТ, которое ко всему создаёт дополнительные трудности доставки при работе в удалённых районах. Шум при работе, использование масла и значительный выброс CO_2 также ограничивают использование этих источников энергии. Биогазовые установки зависят от масштаба, характеризуются громоздкостью, обладают статичностью и нерентабельны при использовании в местах с континентальным климатом. Импортные газогенераторы используют в качестве силового агрегата двигатель внутреннего сгорания, что значительно снижает срок службы установки. Зарубежные установки требовательны к характеристикам топлива и обслуживанию, отличаются дороговизной.

На данный момент времени выполнена металлоконструкция опытного образца газогенератора. Проведены начальные исследования, оптимизирована температура горения (рис. 3).

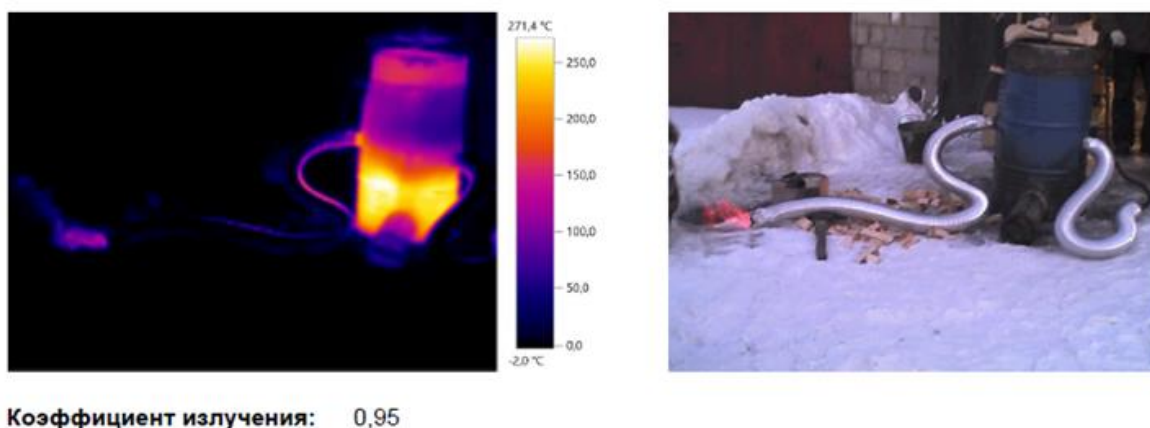


Рис. 3. Газогенератор. Термограммы

Разработан лабораторный прототип парогенератора для проведения исследований на органических жидкостях (рис. 4).

Для дальнейшей работы над установкой следует провести ряд исследований по определению эффективности газогенератора на различных видах топлива по снятию рабочих характеристик ОЦР-парогенератора.



Рис. 4. Экспериментальный парогенератор

Планируется разработать и создавать серийные газогенераторные установки малой и средней мощности (от 10 до 200 кВт) для производства электроэнергии и тепловой энергии в лесоперерабатывающих и частных хозяйствах.

Выводы

1. Данная разработка избавляет лесоперерабатывающий комплекс от проблемы отходов, которые являются причиной пожаров и нарушают экосистему лесов. Вывоз же сопряжен с большими расходами.

2. Когенерационная установка позволит покрывать дефицит мощности при расширениях производства или даст возможность предприятиям продавать энергию «на сторону».

3. Данная мера частично решит вопрос занятости жителей отдалённых сёл, а также будет способствовать развитию малого бизнеса.

4. Данная работа весьма актуальна, что подчеркнуто в Постановлении Правительства РФ «План мероприятий по созданию благоприятных условий для использования возобновляемых древесных источников для производства

тепловой и электрической энергии», предусматривающем меры по стимулированию потребления неликвидных древесных материалов (низкосортной древесины, отходов заготовки, отходов переработки) [5].

Список литературы

1. В Свердловской области из отходов древесины хотят делать электроэнергию // Деньги в бизнес. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dengi-v-biznes.ru/events/0/2010/03/05/1204> (дата обращения: 21.11.2014).
2. Использованная древесина – незадействованный резерв сырья // ПромВуд. [Электронный ресурс]. URL: http://www.promwood.com/byotoplyvo/utylyzacyja_othodov/2162.html (дата обращения: 21.11.2014).
3. Токарев Г. Г. Газогенераторные автомобили / Г. Г. Токарев. М. : МАШГИЗ, 1955. 206 с.
4. Данилов Н. И., Щелоков Я. М. Основы энергосбережения : учебник / Екатеринбург: ИД «Автограф», 2011. 592 с.
5. План мероприятий по созданию благоприятных условий для использования возобновляемых древесных источников для производства тепловой и электрической энергии, утв. Постановлением Правительства РФ от 31.05.2013 № 3028п-П9. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152146/#p66 (дата обращения: 21.11.2014).

УДК 621.548

Завьялов А. С., Тимофеев В. М., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
ОАО «НПО Автоматики имени академика Семихатова Н. А.»,
zavyalov_alex@mail.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕНТОЧНО-ВИНТОВОЙ ВЕТРОУСТАНОВКИ

Для успешной реализации проекта по разработке ветроэнергетической установки (ВЭУ) необходимо придерживаться следующей концепции:

1. Обеспечить модульное построение ВЭУ на различные мощности, используя для этого унифицированные конструктивные элементы.
2. Применить ленточно-винтовые ветророторы (патент № 111894), в настоящее время не имеющие полных аналогов в мире.
3. Максимально использовать собственные возможности предприятия, направленные на полный отказ от применения покупных комплектующих, если их можно изготовить на предприятии, используя отработанные технологии и традиционные материалы.
4. Создать наиболее простое конструктивное решение, состоящее из минимального количества наиболее простых узлов и деталей.
5. Элементы конструкции должны обладать многофункциональностью, т. е. обеспечивать возможность использования не только при производстве ВЭУ, но и в других устройствах, даже не относящихся к ветроэнергетике.
6. Ориентироваться на применение массово-выпускаемых российских материалов и комплектующих.

В соответствии с изложенной концепцией реализовано конструктивное исполнение ВЭУ типа «Колибри», основанной на применении унифицированных элементов: унифицированных ленточно-винтовых ветромодулей, состоящих из унифицированных ленточно-винтовых ветророторов и унифицированных низкооборотных электрогенераторов (которые в соответствии с концепцией используются и в других применениях, например, в качестве высокомоментного электропривода). Также в состав ВЭУ входят: унифицированные электронные блоки – координаторы мощности, выполненные на базе приборов силовой электроники, координирующие работу ветророторов в соответствии с условиями ометания их ветровым потоком, с целью получения экстремальной электрической мощности при действующих ветрах.

Параметры унифицированных ветророторов приведены в таблице.

Параметры ветророторов

Поз.	Параметры	Тип 1	Тип 2
1	Диаметр ветроротора, м	0,36	1,2
2	Ширина ленточно-винтовой поверхности, мм	70	225
3	Шаг накрутки, мм	240	800
4	Количество витков, шт.	6~8	4~8
5	Высота ветроротора, м	1,44~1,92	3,2~6,4
6	Площадь ометаемой поверхности, м ²	0,52~0,69	3,84~7,68
7	Номинальная мощность (при $V_0 = 10$ м/с), кВт:		
7.1	ортогональная установка	72~94	0,45~0,9
7.2	наклонная установка	130~180	0,9~1,8

Ленточно-винтовой ветроротор изготавливается из плоских элементов – секторов, выполненных из листового стеклотекстолита и собранных в спираль. Ветромодуль имеет двухзаходную компоновку, что позволяет ему самоцентрироваться относительно оси вращения.

На первый взгляд ветроротор напоминает ветроротор Савониуса, однако у него имеются свойства как присущие ротору Савониуса, так и отличительные свойства, не присущие никаким ветророторам.

Ленточно-винтовой ветроротор может эксплуатироваться как в ортогональном расположении по отношению к вектору воздушного потока, так и в наклонном.

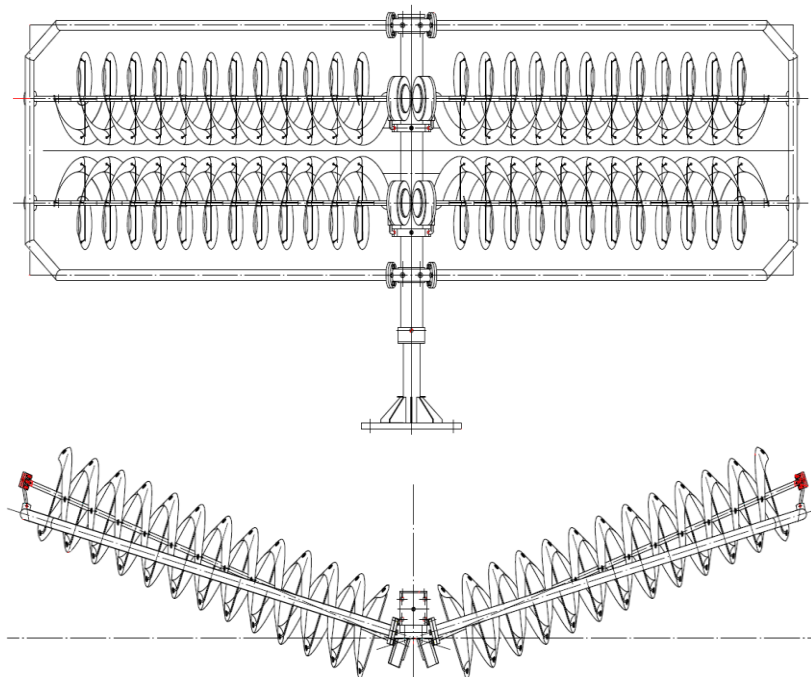
Как показали многочисленные лабораторные испытания масштабных моделей ветророторов – коэффициент передачи (C_p) ветроротора, установленного вертикально, находится в пределах 0,23–0,28. Максимальный C_p – в пределах 0,38–0,43, был получен в лабораторных условиях при наклоне ветроротора относительно потока на угол ≈ 115 – 120° . При дальнейшем увеличении угла C_p уменьшается.

Ленточно-винтовой ветроротор, установленный наклонно, развивает достаточный крутящий момент для начала вращения при слабых ветрах. Так, ленточно-винтовой ветроротор диаметром 1200 мм устойчиво вращается при скорости ветра около 1 м/с.

Конструктивное исполнение ветромодулей позволяет применять различные компоновочные решения при реализации конструктивных решений ВЭУ.

В настоящее время разработано конструктивное решение ВЭУ «Колибри КОВ» (книга, ометаемая ветром) (рисунок).

Основой такого конструктивного оформления является горизонтальное расположение ветророторов с наклоном оси по отношению к вектору потока на 120° . Ветророторы напоминают строчки на листах полураскрытой книги. Такое расположение осей позволяет ВЭУ «Колибри КОВ» самоориентироваться по отношению к направлению ветра. Данная ВЭУ рассчитана на использование ветророторов диаметром 0,36 м. В зависимости от количества используемых модулей (от 1 до 5 модулей) номинальная мощность таких ВЭУ может варьироваться в пределах от 0,5 кВт до 2,5 кВт.



ВЭУ «Колибри КОВ»

В настоящее время по результатам испытаний дорабатывается конструкция ВЭУ «Колибри ВП» – «вращающийся парус». Ось ветроротора на этой ВЭУ установлена наклонно по отношению к поверхности земли и наклонно по отношению к вектору потока. Ветророторы расположены с двух сторон по отношению к наклонной мачте. Конструкция ВЭУ «Колибри ВП» имеет вантовые растяжки, обеспечивающие необходимый наклон ветророторов и необходимую жесткость конструкции.

Ориентация на ветер обеспечивается воздушным килем. ВЭУ рассчитана на применение двух ветромодулей диаметром 1200 мм и имеет номинальную мощность до 4 кВт. Таким образом, ВЭУ типа «Колибри» может быть применена в различных энергетических проектах, свойства конструкции:

- сокращение потребления энергии городскими инфраструктурами из стационарных силовых сетей;
- использование модульной ВЭУ в сетях уличного освещения, светоограждения высотных объектов;
- частичное или полное энергозамещение потребности освещения удаленных автомагистралей и придорожных инфраструктур;
- частичное или полное энергозамещение в сфере коммунальных служб, в сфере обслуживания;
- частичное или полное замещение и обеспечение энергией удаленных объектов, в том числе в АПК, небольших поселках и др.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ежегодно в городах появляются новые микрорайоны с большим количеством жилых домов, детские сады, школы, медицинские учреждения, магазины. Каждое из этих зданий и помещений нуждается в горячем водоснабжении и отоплении [1]. Причем современные квартиры, как правило, с большей жилой площадью, чем были построены ранее. Объем площади пропорционален и стоимости отопления – чем больше квартира, тем большие средства житель должен выплачивать ежемесячно (кроме месяцев отсутствия отопления), а это есть основной объем затрат жителей по получению тепловой энергии. В таблице представлен рост цен на тепловую энергию на протяжении пяти лет.

Статистика роста цен на тепловую энергию

Год	Отопление, руб./м ²	ГВС, руб./м ³
2010	23,40	29,77
2011	27,36	34,91
2012	27,40	39,74
2013	30,09	43,64
2014	34,20	43,64

Из таблицы видно, что рост тарифов за 5 лет достиг почти 50 %. Используя возобновляемые источники энергии, а именно энергию Солнца, можно снизить затраты на получение тепловой энергии с помощью солнечных коллекторов.

Условия Челябинской области, а также ее потенциал позволяют использовать только вакуумные солнечные коллекторы для частного дома. Низкие зимние температуры не позволят достичь необходимого эффекта при использовании плоских коллекторов. Основной проблемой использования является цена оборудования. Однако коллекторы позволяют получить экологически чистую энергию круглогодично. Согласно теоретическим исследованиям, проведенным для Челябинской области, было установлено, что при использовании солнечных коллекторов с ориентированием под углом около 55 градусов к горизонту, можно получить экономию до 10 % на тепловую энергию при совместном использовании с централизованным теплоснабжением [2]. Также проведены исследования для небольшого частного дома в городе Челябинске с выбором необходимого оборудования, определенной схемы теплоснабжения и резервной подачи тепла при помощи термоэлектрического электронагревателя. Данный

элемент нужен в случае недостаточности солнечного излучения для обогрева, а также сохранения теплового баланса и микроклимата в помещении [3].

Список литературы

1. Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика. 2-е изд., доп. СПб. : Наука, 2013. 308 с.
2. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ.; под ред. В. А. Коробова. М. : Энергоатомиздат, 1990. 391 с.
3. Цырикова Н. П. Молодой исследователь: секции технических наук. Челябинск : ЮУрГУ, 2013. 296 с.

УДК 535.24

Киричев А. В., Климов Е. И., Кирпичникова И. М.
Южно-Уральский государственный университет,
ionkim@mail.ru

ЗАВИСИМОСТИ ОСВЕЩЕННОСТИ ФОТОДАТЧИКА ОТ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА СВЕТА И ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Для более эффективного использования солнечного излучения в условиях средних широт применяют разного рода концентраторные системы, в том числе оптические. Одним из типов преломляющих солнечных концентраторов является линза Френеля, составленная из примыкающих друг к другу концентрических колец небольшой толщины, параллельных аналогичным поверхностям простой толстой линзы [1]. Основными преимуществами таких линз являются их компактность по сравнению с обычными выпуклыми линзами, лёгкость (возможность изготовления из полимерных материалов), низкая стоимость изготовления.

Концентрация солнечного излучения, увеличивая плотность излучения, приводит в свою очередь к увеличению температуры в области фокуса концентратора. Этот факт в полной мере является преимуществом в аспектах получения тепловой энергии в установках солнечной энергетики, например башенных солнечных электростанций (БСЭС). Рядом экспериментальных исследований было подтверждено, что среди множества видов концентраторов (главным образом, зеркальных отражателей и систем зеркальных отражателей различной формы и компоновки) линзы Френеля являются наиболее эффективным «производителем» тепловой энергии [2].

Однако для получения электрической энергии в солнечных энергетических установках (СЭУ) применение линзовых концентраторов может привести к снижению энергетических характеристик ФЭП за счет увеличения температуры на его поверхности и соответственно сокращению срока его службы.

Целью данной работы является изучение в лабораторных условиях энергетических и эксплуатационных характеристик ФЭП, установленного в области фокального пятна линзы Френеля, работающего в г. Челябинске (55°09' с. ш.). Особое внимание в ходе данного исследования уделяется режиму работы ФЭП

в день максимальной интенсивности солнечного излучения в г. Челябинске в период с мая по сентябрь 2014 г., а также режиму работы ФЭП после суток максимальной интенсивности.

Для моделирования солнечной радиации, создающей определённую освещённость исследуемой лабораторной установки, были использованы источники света [3] для экспериментов по снятию зависимостей освещённости фотодатчика от мощности источников света и интенсивности их светового потока.

Для экспериментов использовалось три источника света: лампа накаливания, галогенная лампа и компактная люминесцентная лампа (КЛЛ). Такой выбор источников света для снятия вышеуказанных зависимостей обусловлен разностью их показателей интенсивности и спектра излучения при изменении подаваемого на них напряжения. Полученные значения позволяют нам подобрать алгоритм для получения приближенного моделирования солнечного дня с максимальным значением интенсивности естественного солнечного излучения.

Полученные зависимости освещённости фотодатчика различными источниками света от их мощности представлены на рис. 1.

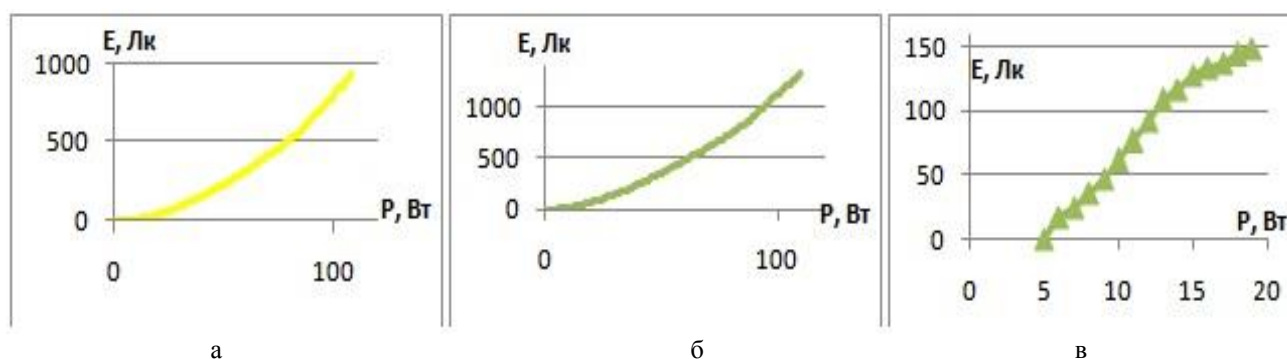


Рис. 1. Зависимости освещённости фотодатчика от мощности источника света: а – лампа накаливания; б – галогенная лампа; в – компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)

Зависимости освещённости фотодатчика от интенсивности источника света представлены на рис. 2.

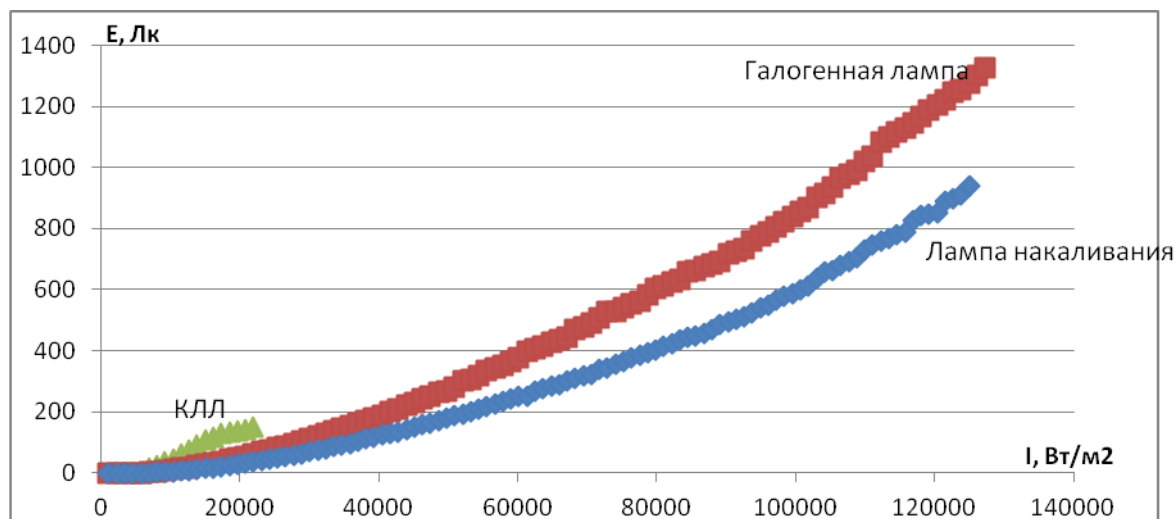


Рис. 2. Зависимости освещённости фотодатчика от интенсивности источника света

Таким образом, имея данные об интенсивности солнечного излучения в г. Челябинске в период с мая по сентябрь 2014 г., становится возможным моделирование освещённости лабораторного концентратора выбором типа и мощности соответствующего источника света.

Список литературы

1. Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов; под общ. ред. В. И. Виссарионова / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин. М. : ИД МЭИ, 2008.
2. Киричев А. В., Кирпичникова И. М. Физическое моделирование преобразования солнечной энергии с целью изучения процессов практического использования солнечной энергии. Возобновляемые источники энергии : материалы Всерос. науч. конф. с международ. участием и IX научной молодежной школы. М. : Университетская книга, 2014. С. 148–154.
3. Кирпичникова И. М., Аникин А. С., Соломин Е. В. Энергосбережение в социальной сфере : учеб. пособие. Челябинск : ЮУрГУ, 2014. 78 с.

УДК 621.548

Климов Е. И., Ежиков Н. И.
Южно-Уральский государственный университет,
eklimov80@gmail.com, ctulhu31@gmail.com

ВСЕРОССИЙСКИЙ СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ ОПРОС «ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ К ВОПРОСУ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ»

Вопрос размещения ветроэнергетической установки (ВЭУ) в городской среде вызывает ряд негативных ассоциаций: влияние шума и вибрации на население, блокирование территории, возникновение радиопомех и эстетическая неприязнь [1]. Но упомянутые недостатки исправимы и зависят от конструкции ВЭУ [2]. Вопрос блокирования территории предлагается решать, размещая ВЭУ на инженерных конструкциях (кровлях зданий, мостовых конструкциях и др.). Для выявления отношения населения к размещению ВЭУ в городской среде проводится исследование в форме опроса, распространяемого при помощи социальных сетей. Опрос был создан при помощи сервиса «Google Docs» и содержит ряд вопросов о респондентах (пол, возраст, образование и др.), а также об отношении к возобновляемой энергетике и размещению ВЭУ в городской среде. Вопросы были расположены согласно пяти принципам, выделенным В. А. Ядовым [3].

Руководствуясь ими, были выбраны размеры вопросов и порядок их расположения (для распределения оказываемой на респондента нагрузки). Рассмотрим предварительные результаты опроса. По данным на 2 ноября 2014 г. было получено 233 ответа. На вопрос: «Ваше отношение к возобновляемой энергетике?» респонденты ответили в большей степени положительно, соотношение ответов представлено на рис. 1.

В *другие* вошли ответы, которые условно можно разделить: на *положительное*; *скептическое*; *промежуточное*.

Следующим представим соотношение ответов на вопрос: «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок в публичных местах?», под публичными местами понимается размещение ВЭУ на крышах торговых центров, мостах и других конструкциях.

Больше половины опрошенных ответили «положительно», соотношение ответов представлено на рис. 2, а.

В «другие» вошли ответы, в которых респонденты устанавливали условия касательно размещения установки:

1. Установка не должна наносить вред населению города (исключить влияние шума и вибрации).
2. Установка должна вписываться в архитектурный стиль города.
3. Исключить возможность размещения ВЭУ на архитектурных памятниках.

Схожее соотношение ответов и на вопрос: «Ваше отношение к размещению ветроэнергетических установок на крышах жилых зданий?» (рис. 2, б). В *другие* ответы также вошли выдвинутые при прошлом вопросе условия, плюс ограничение на установку ВЭУ только на многоэтажных зданиях.

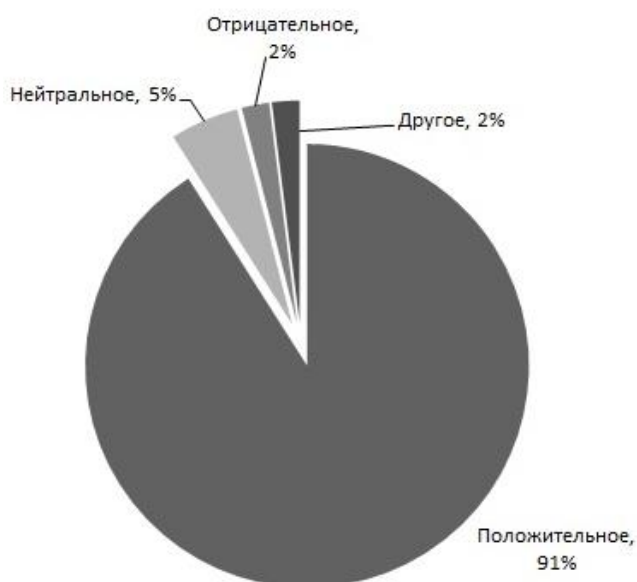


Рис. 1. Соотношение ответов на вопрос: «Ваше отношение к возобновляемой энергетике?»

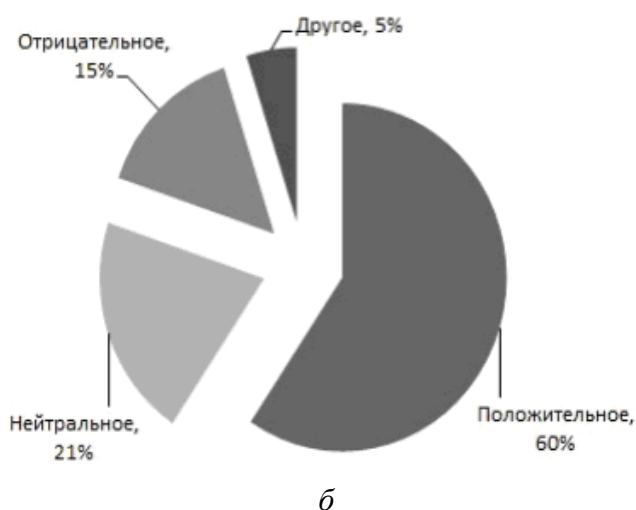
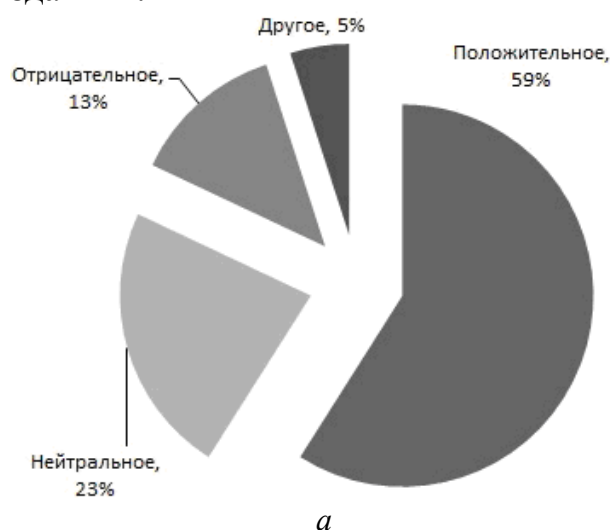


Рис. 2. Соотношение ответов на вопросы касательно расположения ВЭУ в городской среде

Последним представлено соотношение ответов на вопрос: «Считаете ли Вы важным внедрение установок возобновляемой энергетики в России?», рис. 3. Как видно из рис. 3, респонденты считают, что вопрос внедрения установок возобновляемой энергетики имеет большую важность в нашей стране. Результаты *других* ответов в этом вопросе склоняются в сторону положительного ответа.



Рис. 3. Соотношение ответов на вопрос: «Считаете ли Вы важным внедрение установок возобновляемой энергетики в России?»

Среди респондентов преобладали мужчины (66 % опрошенных). Возраст опрошенных входит в диапазон от 14 до 53 лет, с преобладанием от 18 до 23 лет (активная интернет-аудитория). До 42 % опрошенных имеют высшее образование, 48 % имеют неоконченное высшее образование. По специальностям респонденты были дополнительно распределены на три группы: *Техническая специальность*, *Гуманитарная специальность* и *Нет*, для респондентов, не выбравших свое направления учебы или работы.

По количеству респондентов преобладает группа *Техническая специальность* (≈ 63 %). В дальнейшем планируется детально изучить зависимость ответов от специальности опрошенного респондента.

Согласно комментариям респондентов можно с уверенностью сказать, что большинство из них ассоциирует ВЭУ скорее с шумом и вибрацией, чем с проблемой визуального восприятия (хотя и эта проблема была поднята при ответах на вопросы, связанные с расположением ВЭУ в городской среде).

Результаты доказывают, что граждане РФ поддерживают инициативу размещения ВЭУ на инженерных сооружениях в городской среде. Это говорит о том, что эстетическая неприязнь к ВЭУ среди населения не имеет достаточной силы для препятствия их размещению в городской среде. Однако стоит уделить внимание условиям, выдвинутым респондентами при ответе на поставленные вопросы.

Список литературы

1. Колесникова И. В. Эстетико-экологические проблемы ветроэнергетики // Вестник ОГУ. 2013. № 7 (156). С. 142–146.
2. Соломин Е. В. Размещение ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения на ответственных инженерных объектах // Вестник ЮУрГУ. 2010. Вып. 11. № 33(209). С. 47–51.
3. Ядов В. А. Социологическое исследование: методология, программа, методы. Самара : Самарский ун-т, 1995. 328 с.

СИСТЕМА «ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА» ВЕРСИЯ 0.3.2

Последние несколько десятилетий человечество озадачено проблемой утилизации отходов. За этот промежуток времени были сделаны большие шаги в технологии переработки отходов. На текущий день возможна переработка до 90 % твердых бытовых отходов [1], однако, согласно исследованиям предприятий по переработке отходов в г. Челябинске и в близлежащих крупных городах (г. Копейск, пос. Коркино и т.д.), предприятия перерабатывают не более 30–40 % поступающих отходов. Данный факт можно объяснить недостатком средств для использования современного оборудования. Также процесс обработки затруднен тем, что практика разделения бытовых отходов горожанами, которая упрощает переработку отходов, только зарождается в Челябинской области.

Согласно исследованию, при организации сортировки пластика даже на две простейших фракции, такие как «пищевой» и «прочее», и доставке разделенного пластика на специализированные предприятия, можно будет увеличить объемы переработки, по оценкам экспертов, на 25–35 % по сравнению с текущими показателями. Приведенный пример позволяет показать важность логистики и раздельного сбора отходов в вопросе переработки бытовых отходов. Однако утилизация пластика не решает вопроса сокращения площадей под полигоны ТБО в той степени, которая необходима в современном обществе. Для получения результатов стоит обратить внимание на вопрос утилизации отходов сельского хозяйства. Далее будет рассмотрен вопрос выбора месторасположения предприятия по переработке отходов сельскохозяйственных предприятий.

Отходы сельского хозяйства составляют очень крупный спектр отходов, в который входят не только отходы от выращиваемых культур (стебли, листва, шелуха и т.д.), но и отходы мясных хозяйств, мясоперерабатывающих предприятий, рыбной отрасли и другие. Отходы предприятий сельского хозяйства также имеют свои различия: одни имеют хорошие показатели по содержанию жирных аминокислот, другие – по содержанию сахара. Исходя из этих различий, следует разрабатывать предприятия по утилизации сельскохозяйственных отходов с целью получения определенного вида биотоплива. Главной проблемой, препятствующей развитию данной отрасли, является проблема выбора места для постройки перерабатывающего предприятия, так как строительство завода по переработке сельскохозяйственных отходов в биогаз возле фермерского хозяйства невыгодно по причине малого количества отходов [2]. Также одного производства недостаточно для развития таких видов биотоплива, как биодизель или биоэтанол. Использование отходов нескольких сельскохозяйственных предприятий может решить проблему нехватки сырья. Для решения проблемы выбора месторасположения предприятия по переработке отходов сельского хо-

зяйства мы предлагаем использовать полуавтоматическую систему на основе интерактивной карты. Система будет выполнена в виде карты, с нанесенными на нее сельскохозяйственными предприятиями, с указанием их производственных мощностей и основными транспортными путями. Данная система будет использовать доступную пользователю информацию для определения районов размещения производств по переработке отходов в биотопливо, вид которого также будет определен системой. В случае, если пользователю нужно рассчитать месторасположение комплекса по получению конкретного вида биотоплива или он располагает территорией, на которой может построить комплекс, но не знает, с каким предприятием ему стоит сотрудничать, в системе будут доступны инструменты для помощи в решении поставленных пользователем проблем.

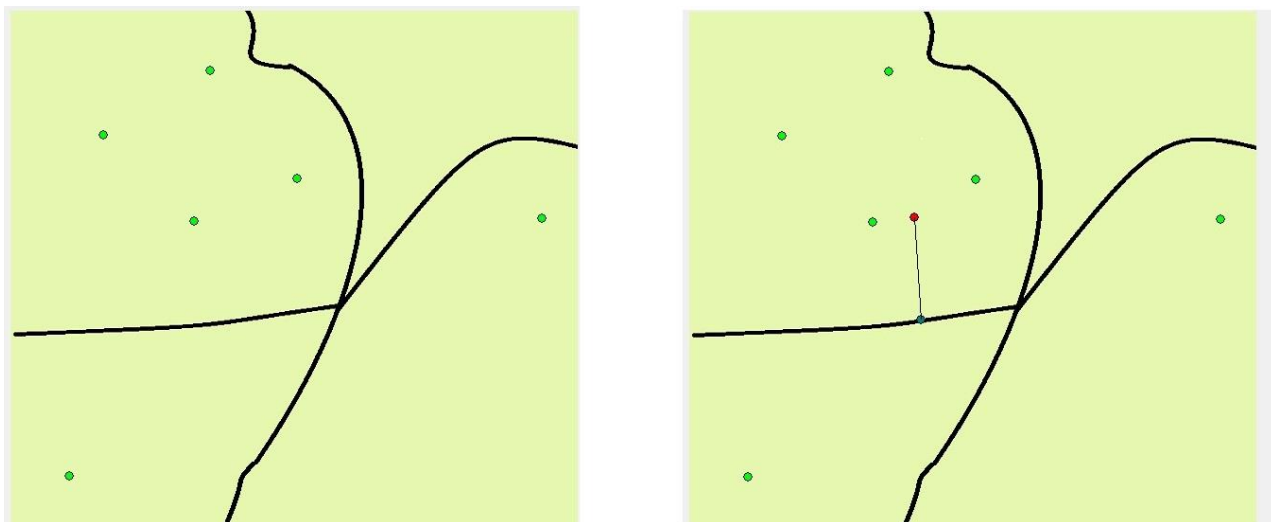
Наиболее частым решением проблемы оптимального месторасположения является метод, основанный на использовании приближенных алгоритмов решения задачи коммивояжера в метрическом пространстве – метод остоного дерева [3]. Данный метод может наглядно рассчитать оптимальный транспортный маршрут между сельскохозяйственными предприятиями на обозначенной территории. Однако он имеет ограничения, связанные с количеством предприятий и сложностью транспортных путей, которые приведут к большим затратам времени и ресурсов.

По причине недостатка ресурсов для расчёта остоного дерева система использует графический способ для выполнения поставленных пользователем целей. Для этого пользователь выбирает необходимые фермерские хозяйства, а система строит сложную фигуру и находит ее центр тяжести по формуле (1), который отмечается на карте точкой [4]. Далее находится ближайший транспортный канал и на основе этих данных выбирается место будущего предприятия по переработке отходов. Незначительным недостатком этого метода является большая погрешность, чем при использовании метода остоного дерева, что компенсируется скоростью работы данного алгоритма.

$$\vec{r}_1 = \frac{\sum \vec{r}_i \cdot m_i}{\sum m_i}.$$

На рисунках зеленые точки – предприятия, черная полоса – транспортные каналы, красная точка – центр тяжести, синяя точка – оптимальное местоположение относительно транспортного канала. На первой части рисунка отмечаются предприятия. На второй части вычисляется конечный центр тяжести и определяется оптимальное место для постройки предприятия по переработке отходов сельского хозяйства в биотопливо.

Система «Интерактивная карта» позволит сократить период поиска оптимального месторасположения предприятий по переработке отходов сельского хозяйства и иных производств, если данные об этих производствах будут доступны для занесения в систему.



Пример нахождения месторасположения предприятия по переработке отходов в биотопливо при помощи системы «Интерактивная карта»

Помимо транспортных каналов, в системе будут учитываться особенности рельефа, коммуникации (нефте- и газопроводы, линии электропередач и пр.), плотность населения и особенности климата. Практическая реализация интерактивной карты предпочтительна в формате WEB-сервиса, так как только в этом случае можно обеспечить оперативное обновление всех данных и доступ к системе из любой точки мира с любого устройства, поддерживающего выход в интернет вне зависимости от платформы.

Список литературы

1. Состояние вопроса об отходах и современных способах переработки [Текст]: учеб. пособие / Г. К. Лобачева [и др.]. Волгоград: ВолГУ, 2005. 176 с.
2. Васильев Р. Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 3: биогаз // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. Т. 3. № 3. 2007.. С. 54–61.
3. Алгоритмы. Построение и анализ. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест К. Штайн / 2-е изд. – М. : Вильямс, 2009.
4. Журавлев В. Ф. Основы теоретической механики. 2-е изд. М. : Физматлит, 2001. 320 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.e-maxx.ru/algo/gravity_center (дата обращения: 14.11.2014).

УДК 66.076

Козлов Н. А., Попов А. И.,
Уральский федеральный университет,
nkozlov21@mail.ru

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗА – ГАЗГОЛЬДЕР

В состав биогазовых установок входят различные устройства для накопления, хранения и выдачи газа потребителям. Биогазовые установки являются достаточно дорогими агрегатами и задача снижения их стоимости, в том числе за счет стоимости газгольдера, весьма актуальна.

Предложенный вариант универсального газгольдера представлен на рисунке.

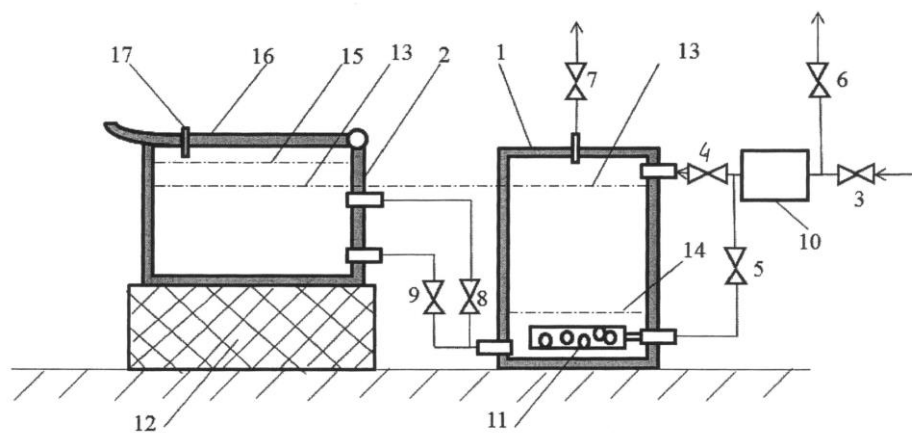


Схема газгольдера

Отбор газа из газгольдера осуществляется при открытых вентилях 6, 4, а также 8 или 9, причем вентили 3, 5, 7 закрыты. Газ поступает потребителю из

емкости 1 через вентиль 4, гидравлический затвор 10 и вентиль 6. Уменьшившийся объем газа в емкости 1 компенсируется объемом жидкости, поступающей обратно из бака 2 через один из вентилях 8 или 9. Данные вентили подключены по высоте к разным уровням жидкости в баке, и включение какого-либо из них определяется давлением, которое необходимо создать для передачи давления жидкости на газ в емкости 1.

После полной выработки газа из газгольдера жидкость и в баке 2, и в емкости 1 возвращается на уровень 13. Для уменьшения габаритов бака 2 он размещается на подставке 12 и закрывается крышкой 16.

При использовании незамерзающей жидкости (тосол, растворы спиртов и т.д.) исключаются ее потери, так как испарения через патрубок 17 весьма незначительны.

В данном устройстве представляется также возможность произвести очистку биогаза, например, после биогазовой установки. С этой целью в качестве рабочей жидкости используется раствор диметилэталонамина совместно с аэратором 11 жидкости. Биогаз при зарядке газгольдера поступает через открытый входной вентиль 3, гидравлический затвор 10, открытый второй дополнительный вентиль 5 на аэратор 11, расположенный ниже уровня 14, при этом вентили 4, 6, 7 закрыты и открыт один из вентилях 8 или 9. В аэраторе 11 биогаз превращается во множество мелких всплывающих пузырьков, и поверхность контакта биогаза с раствором диметилэталонамина резко увеличивается, что приводит к форсированию абсорбции кислотных газов и увеличению концентрации метана в биогазе.

Разрядка газгольдера и выдача газа потребителю происходят в обычном порядке через открытый вентиль 4, гидравлический затвор 10 и вентиль 6, а вентили 3, 5, 7 закрыты.

Вентиль 7 используется при необходимости продувки герметичной емкости 1. Прочие устройства автоматики и контрольные датчики являются типовыми и на чертеже не показаны.

Предлагаемый газгольдер может найти широкое применение в составе биогазовых установок, так как в них используется низкое давление газа и могут быть использованы резервуары, емкости, бочки и т. д. разных конструкций и модификаций.

Применение незамерзающих жидкостей в газгольдере позволит использовать его при низких температурах на открытом воздухе без строительства защитных сооружений. В процессе работы незамерзающая жидкость не растрачивается, используется неограниченное время, поэтому незначительно влияет на себестоимость изделия. Применение в предлагаемом газгольдере жидкостей, очищающих биогаз от вредных примесей и увеличивающих концентрацию метана, расширяет области его использования.

Список литературы

1. Мембранные газгольдеры для биогаза // Акватерм. 2004, № 5(21). – С. 98.
2. ГОСТ 5172–63. Газгольдеры стальные постоянного объема, цилиндрические. Параметры и основные размеры. Введ. 1964-01-01. М. Госстандарт России : Изд-во стандартов : 1993. 20 с.
3. Патент 2050338 Российская Федерация, МПК C02F 11/04. Метантенк для фермерских хозяйств: / Лосяков В. П. [и др.]. № 92003080; заявл. 30.10.1992; опубл. 20.12.1995.

4. А.с. 1139713 СССР, МПК C02F 3/20. Устройство для аэрации жидкости / Н.Ф. Мещеряков.
5. А.с. 1341167 СССР, МПК C02F 3/20 Устройство для аэрации жидкости: / А.Р. Гросс.

УДК 662.74

Кривова К. Д., Худякова Г. И., Рыжков А. Ф.
Уральский федеральный университет,
uge87@mail.ru

КОНВЕРСИЯ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ В ВОЗДУШНОЙ И ПАРОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

В последнее время уделяется большое внимание разработке способов экологичного использования твердого топлива [1], которое, как известно, при прямом сжигании без последующей очистки дымовых газов наносит значительный ущерб окружающей среде. Способы снижения выбросов вредных и опасных веществ топочными методами ведутся многими научными коллективами в России и за рубежом. Одним из путей экологичного использования твердого топлива может служить газификация, последующая очистка и сжигание топливного газа. Полученный топливный газ может использоваться как топливо для тепловых двигателей (ДВС, ГТУ).

Помимо решения экологических вопросов, установки газификации твердого топлива могут служить альтернативой традиционным энергоисточникам. При создании независимого источника топливом могут служить уголь, дрова, опилки и т.д. Особенно актуальной представляется разработка газификаторов малых размеров, относительно простых в изготовлении и способных работать на низкосортных видах твердого топлива, которые имеют высокое содержание влаги или золы.

Газификация твердого топлива – достаточно сложный процесс, поэтому требуются серьезные математические проработки, а также применение методов моделирования, где каждый параметр зависит от целого набора внешних и внутренних факторов, требуются серии экспериментов с изменением параметров процесса: скорости подачи топлива и окислителя, температурной программой, составом дутья и т.д.

Объектом исследования служат процессы в реакторе термохимической конверсии, который работает на угольной пыли стандартного помола. Дутьевым агентом может быть воздух и воздух с присадкой водяного пара.

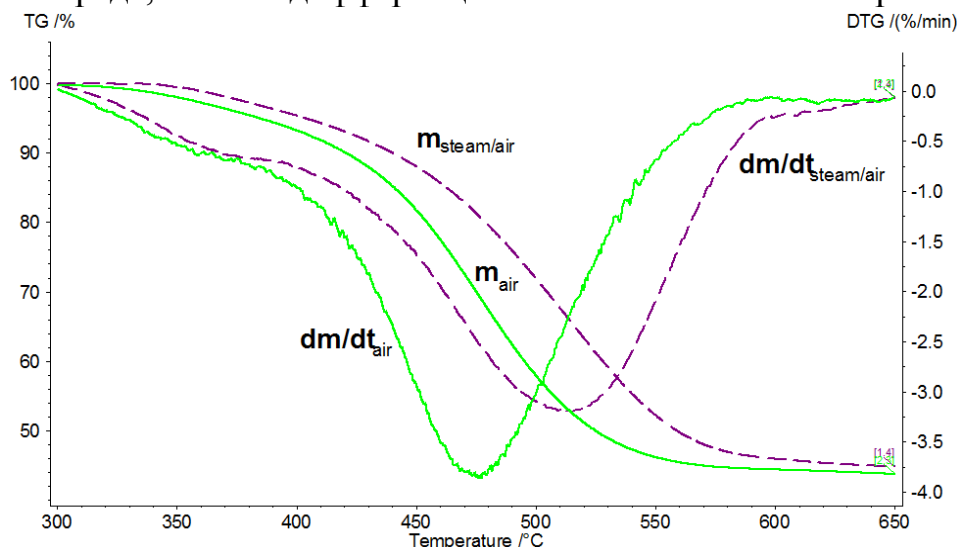
Целью данной работы является моделирование процессов конверсии исходного угольного топлива в воздушной и паровоздушной среде для разработки малой установки газификации твердого топлива при помощи комплекса «Netzsch» как инструмента для экспериментального исследования процессов конверсии топлива.

Одним из основных лабораторных методов для проведения термохимической конверсии твердых топлив является термогравиметрический анализ, кото-

рый позволяет определить кинетические характеристики топлива в различных режимах конверсии, а также скорости его выгорания. Данный метод позволяет регистрировать изменение массы топливной навески, например угля, подвергающейся нагреву в печи при заданной скорости разогрева и дутьевом агенте. Получаемая в эксперименте кривая изменения массы образца в зависимости от времени дает возможность установить температурные диапазоны различных стадий (сушка, выход летучих, выгорание коксового остатка), а также рассчитать эффективные значения кинетических параметров путем соответствующей математической обработки.

Все эксперименты проводились на приборе NETZSCH STA 449F3 со стандартным ТГ-ДСК держателем. Устройство прибора позволяет также организовать синхронный термический анализ эффектов реакции с одновременным измерением концентрации выделяющихся газов на масс-спектрометре. Температура разогрева печи программируется в диапазоне от 25 до 1250 °С. К образцу угля подводится смесь газов, которая позволяет исследовать процесс конверсии в различных режимах конверсии – сжигания в воздухе и газификации в паровоздушной среде.

Исходное топливо (частицы экибастузского угля) подвергалось нагреву со скоростью 7,5 К/мин с воздушным и паровоздушным дутьем (соотношение пар/воздух 0,2 мас.). В ходе экспериментов определено, что влажность представленного образца топлива составила 2 %, зольность 45 %, выход летучих 22 %. На рисунке приведены кривые убыли массы навески топлива в воздушной и паровоздушной среде, а также дифференциал изменения массы по времени.



Конверсия исходного угля в воздушной и паровоздушной среде

Анализируя приведенные зависимости скорости убыли массы по времени, можно отметить, что для паровоздушного дутья реакция идет с некоторым отставанием (dm/dt) ввиду недостаточного количества окислителя, подводимого к топливной навеске, а также присутствия пара, который оказывает общий эндотермический эффект. Однако добавление пара к воздушному дутью обогащает получаемый синтез-газ водородом.

Определение кинетических характеристик происходит по общему уравнению процесса (1) независимо от типа исследуемого топлива, параметров ТГА эксперимента. Общее расчетное уравнение включает степень конверсии (X), множитель, учитывающий физико-химические свойства образца, и модель превращения частицы $F(X)$, константу скорости $K(T)$, парциальное давление газа-реагента P_r , порядок реакции n :

$$dX/dt = k(T) f(X) P_r^n. \quad (1)$$

Учитывая, что концентрация газа-реагента оставалась постоянной и, принимая порядок реакции равным единице, кажущееся значение константы скорости химического реагирования можно выразить, используя известное уравнение Аррениуса (2):

$$k = k_0 e^{E/RT}, \quad (2)$$

где k_0 и E – предэкспоненциальный множитель и энергия активации соответственно.

Для определения кинетических констант процесса газификации угля в разных средах методом ТГА использовались стандартные средства интерпретации данных термоаналитических измерений. Задача состояла лишь в корректном выборе модели конверсии. Существуют несколько основных моделей, предложенных различными исследователями, одной из них является объемная модель (volumetric model), в ней $f(X) = 1-X$. Данная модель построена на предположении, что гетерогенная реакция взаимодействия окислителя с углеродом происходит на поверхности частицы, а площадь поверхности реагирования уменьшается по мере конверсии. Представленный метод является наиболее простым способом обработки данных, получаемых с помощью термогравиметрического анализа. При этом значение энергии активации и предэкспоненциального множителя рассчитываются для конкретного режима реагирования и для широкого диапазоне конверсии (таблица).

Кинетические характеристики топлива

Параметры эксперимента	Дутьевой агент	Воздух	Пар/воздух
Энергия активации	E_a , кДж/моль	102,7	88,3
Предэкспоненциальный множитель	k_0 , 1/с	$3,1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$
Достоверность	r	0,999	0,999

При этом конверсия исходного угля в среде воздух/пар имеет меньшую энергию активации, для конверсии паром требуется дополнительное количество энергии от сжигания топлива, однако такая реакция обогащает продукты газификации водородом, что увеличивает теплоту сгорания газа. Оптимальным можно назвать режим с выгоранием исходного топлива в воздухе и последующей газификацией смеси коксового остатка топлива и исходного угля в паровоздушной среде.

Определены кинетические характеристики топлива и скорость выгорания исходного топлива в различных режимах, моделирующих установку конверсии.

Исследование выполнено в при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-01226/14 А.

Список литературы

1. Ryzhkov A.F., Bogatova T.F., Val'tsev N.V., Gordeev S.I., Khudyakova G.I., Osipov P.V., Abaimov N.A., Chernyavskii N.V., Shul'man V.L. Development of Low Temperature Thermochemical Conversion Reactors for Coal Power Engineering // Thermal Engineering. December 2013. Vol. 60. Issue 12. P. 895–903.

УДК 621.316.9

Кримготовов А. Э.¹, Ключев Р. В.²

¹Астраханский государственный технический университет (АГТУ)

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТИ)
kluev-roman@rambler.ru

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА ОТКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАЛЫХ ГЭС

В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию в РСО-Алания особую актуальность приобретают вопросы обеспечения республики дешевой и качественной энергией. Наибольший энергетический потенциал РСО-Алания заключается в использовании энергии высокогорных рек. В настоящее время Северо-Осетинский филиал ОАО «РусГидро» включает 6 гидроэлектростанций (ГЭС), заканчивается строительство каскада Зарамагских ГЭС на р. Ардон и ряда малых ГЭС на р. Урух. На кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» СКГМИ (ГТИ) большое внимание уделяется вопросам исследования водно-энергетических режимов, а также статической и динамической устойчивости ГЭС. В статье приведены результаты расчета предельного угла отключения трехфазного короткого замыкания (КЗ) при исследовании динамической устойчивости для генератора с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) пропорционального действия малой ГЭС (МГЭС) «Фаснальская».

На МГЭС установлены 4 генератора по 1,6 МВт каждый. Общая мощность – 6,4 МВт, напряжение – 6,3 кВ. Точка присоединения – п/ст 35/6 кВ «Фаснал», РУ 6 кВ – 2 фидера на одной секции. Передача мощности идет по двухцепным воздушным ЛЭП, выполненным проводом марки АС-120/19, протяженностью 360 м.

Расчет динамической устойчивости:

1. Составление схемы замещения для нормального (I), аварийного (II) и послеаварийного (III) режимов работы синхронного генератора (СГ).

2. Построение угловых характеристик мощности СГ при трехфазном коротком замыкании на одной из ЛЭП 6 кВ.

3. Построение площадей ускорения $A_{\text{уск}}$ и торможения $A_{\text{торм}}$ и определение предельного угла отключения КЗ.

Целью расчета является определение предельного угла отключения короткого замыкания (КЗ) ($\delta'_{\text{пр}}$), при котором еще сохраняется возможность

обеспечения динамической устойчивости работы генератора. При КЗ возникает избыточный момент, под действием которого ротор генератора ускоряется, и начальный угол начинает возрастать. Если отключение релейной защиты поврежденного участка сети, на котором произошло КЗ, и переход с аварийного режима КЗ (II) на послеаварийный (III) происходит в пределах изменения угла от δ'_0 до $\delta'_{\text{пр}}$, то динамическая устойчивость работы генератора обеспечивается. Необходимым условием сохранения динамической устойчивости является соблюдение соотношения: $A_{\text{уск}} \leq A_{\text{торм}}$, где $A_{\text{уск}}$, $A_{\text{торм}}$ — соответственно площади ускорения и торможения.

Определим предельные углы и площади ускорения и торможения с учетом АРВ пропорционального действия.

Начальный угол $\delta'_0 = 8,123^\circ$.

Критический угол в нормальном режиме при эквивалентной мощности генератора: $P_{\text{Г.ЭКВ}} = 6,4$ МВт [1]:

$$\delta'_{\text{кр}} = 180^\circ - \arcsin \left(\frac{P_0}{P_{\text{прI}}} \right); \delta'_{\text{кр}} = 171,877^\circ.$$

Из равенства площадей ускорения и торможения ($A_{\text{уск}} = A_{\text{торм}}$) определяется предельный угол отключения для трехфазного КЗ. Если при расчетах полученное значение $\cos \delta_{\text{пр}}^{(i)} > |1|$, то угол не существует, т. е. система устойчива в аварийном режиме. Площади ускорения и торможения при трехфазном КЗ:

$$A_{\text{уск}} = \int_{\delta'_0}^{\delta'_{\text{пр}}(3)} (P_0 - P_{\text{прII}}^{(3)} \sin(\delta')) d\delta'; A_{\text{торм}} = \int_{\delta'_{\text{пр}}(3)}^{\delta'_{\text{кр}}} (P'_{\text{прIII}} \sin(\delta') - P_0) d\delta'.$$

Из равенства площадей ускорения и торможения: $\delta'_{\text{пр}}(3) = 125,776^\circ$. Расчетные значения площадей: $A_{\text{уск}} 17,65$; $A_{\text{торм}} 8,26$.

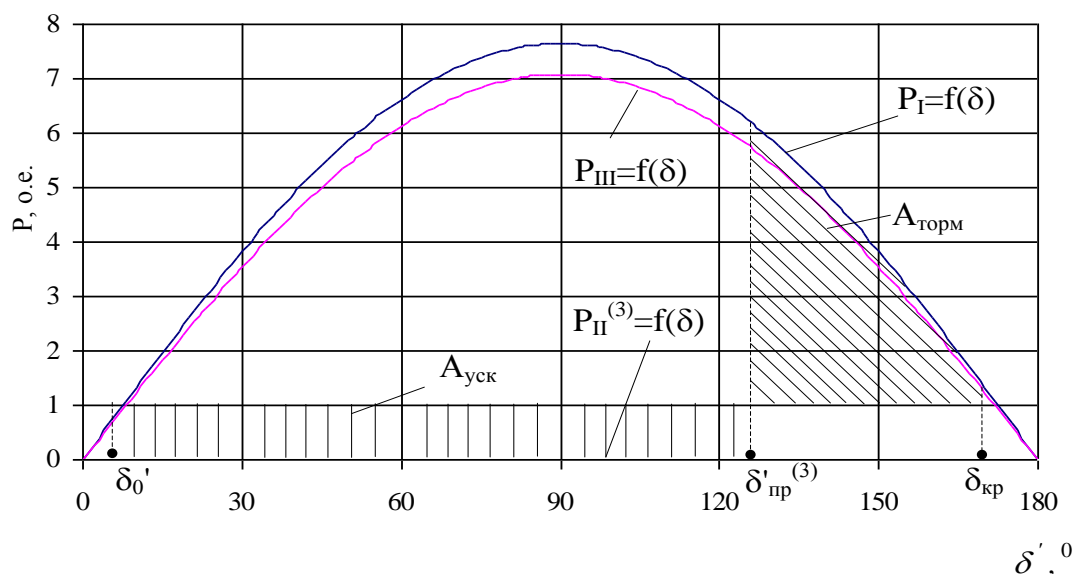
Угловая характеристика мощности генератора для режимов I, II, III при трехфазном КЗ приведена на рисунке.

При изменении $P_{\text{Г.ЭКВ}} = 1,6 - 6,4$ МВт расчетные значения начального, предельного, критического углов отключения КЗ, а также площадей ускорения и торможения для наиболее тяжелого вида КЗ (трехфазного) приведены в таблице.

Характеристики СГ при трехфазном КЗ

$P_{\text{Г.ЭКВ}},$ МВт	$\delta'_0, ^\circ$	$\delta'_{\text{кр}}, ^\circ$	$\delta'_{\text{пр}}(3), ^\circ$	$A_{\text{уск}}$	$A_{\text{торм}}$
1,6	3,489	176,47	144,315	35,196	35,206
3,2	4,336	175,505	139,709	67,606	67,686
4,8	5,7	173,948	133,224	95,379	95,643
6,4	8,123	171,877	125,776	117,653	118,262

Из таблицы видно, что расчетные значения предельного угла отключения трехфазного КЗ увеличиваются от $125,776^\circ$ до $144,315^\circ$ при снижении эквивалентной мощности СГ со значения 6,4 МВт до 1,6 МВт.



Угловые характеристики мощности генератора с АРВ пропорционального действия для режимов I, II, III при трехфазном КЗ

Полученные значения $\delta'_{пр}^{(3)}$ используются при разработке комплексной программы автоматического управления режимами эксплуатации МГЭС «Фаснальская» [2–6].

Список литературы

1. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Ключев Р. В. Оценка влияния быстродействующего автоматического повторного включения на динамическую устойчивость электроэнергетической системы // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 2. С. 67–69.
3. Исследование и расчет устойчивости работы высокогорных Малых гидроэлектростанций (МГЭС) / И. Е. Васильев, Р. В. Ключев А. А. Долганов / Устойчивое развитие горных территорий. 2011. № 3. С. 50–58.
4. Разработка научно-технических основ расчета, функционирования и управления малыми гидроэлектростанциями (МГЭС) / Васильев И. Е., Долганов А. А., Ключев Р. В. // Устойчивое развитие горных территорий. 2013. № 3. С. 5–9.
5. Методика и расчет установившегося режима работы МГЭС без промежуточного отбора мощности в электрической сети / Васильев И. Е., Долганов А. А., Ключев Р. В., Галкина О. Ю. // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 1. С. 30–36.
6. Методика расчета напряжений в узлах нагрузки электрической сети МГЭС-МРСК с промежуточным отбором мощности в электрической сети // И. Е. Васильев, Р. В. Ключев, Е. И. Васильев, А. А. Долганов. Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 2. С. 37–44.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

В промышленных печах или в топках тепловых электростанций сжигают нефть, природный газ или твердое топливо, получают горячий дымовой газ. Полученный горячий газ невозможно хранить или передавать на большие расстояния – из-за снижения его температуры (остывания).

Когда газифицируют древесину или уголь, получают горючий газ, который можно хранить или транспортировать на большие расстояния. Этот газ легко очистить от таких вредных примесей, как соединения серы, он может быть использован не только как горючее, но и как химическое сырье для разнообразных синтезов.

Существуют два основных метода переработки твердого топлива – сжигание и газификация, дающие столь разные конечные продукты. Процесс сжигания топлива проводится с избытком кислорода, а процесс газификации проводится с недостатком кислорода и, следовательно, с избытком углерода. Во втором случае состав газа, получаемого при газификации углей, чрезвычайно разнообразен и зависит от условий проведения процесса газификации (давления, температуры, концентрации в используемом дутье кислорода). В случае газификации твердого топлива при недостатке кислорода сера топлива переходит в сероводород. Если состав дымового газа довольно постоянен, то составом газов газификации твердого топлива можно резко варьировать.

Процессы очистки генераторных газов от сероводорода, пылевидного уноса хорошо освоены и проводятся с большой полнотой и относительно экономичны, а оксиды азота в них практически отсутствуют. Процесс очистки генераторных газов необходим при дальнейшем использовании этих газов в качестве топлива для ДВС (двигателей внутреннего сгорания). Из-за дымовых выбросов появляются разрушительные кислотные дожди, а в результате очистки генераторных газов от сероводорода появляется полезно используемая в дальнейшем сера. Так, различная технология переработки древесины и угля приводит в одном случае к экологически неприемлемым конечным результатам, в другом – к экологически чистым (рисунки).

Универсальность методов газификации твердого топлива может рассматриваться в трех направлениях:

- во-первых, методам газификации подвластны любые твердые топлива, начиная от торфа, самых молодых бурых углей и кончая древесной щепой;
- во-вторых, методами газификации твердого топлива можно получать горючие газы любого состава, начиная от чистых водорода, оксида углерода, метана, их смесей в различных пропорциях и кончая генераторным газом;

– наконец, в-третьих, немаловажной особенностью методов газификации твердого топлива являются их масштабные изменения. Газогенераторные установки могут обслуживать крупнейшие химические комбинаты, снабжать горючим газом крупнейшие ТЭЦ и в то же время могут обеспечивать газом небольшие автономные энергетические и химические установки (например, газогенераторные установки для автомобилей), поселки и деревни.

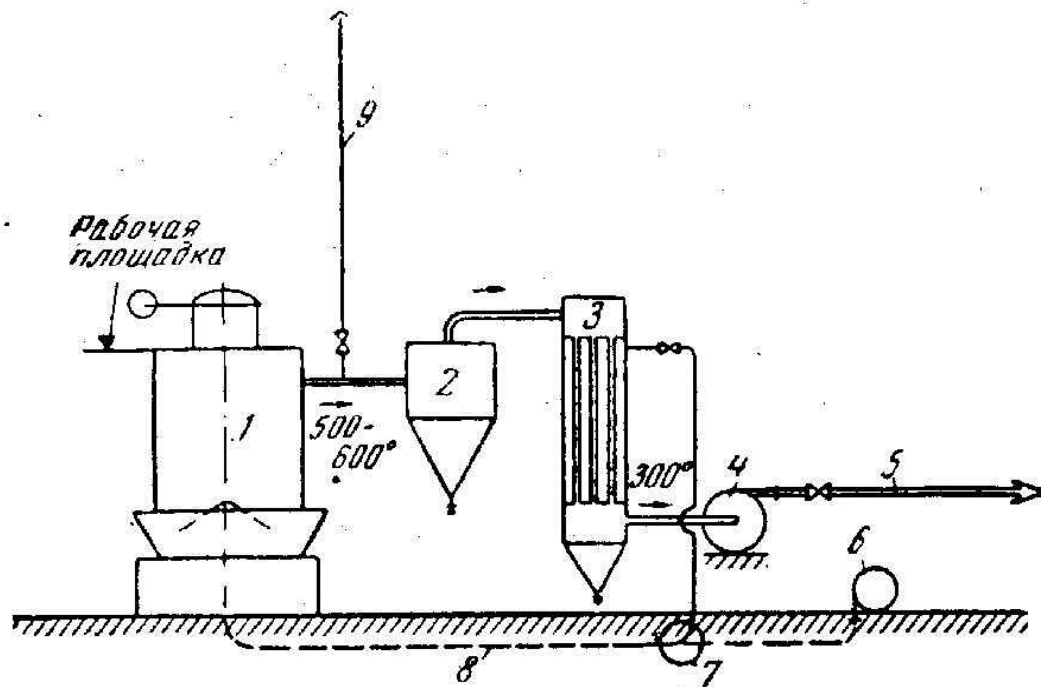


Схема получения горячего газа с газодувкой:

1 – генератор; 2 – циклон; 3 – котел-утилизатор; 4 – газодувка; 5 – газопровод к потребителям; 6 – воздуходувка; 7 – смеситель; 8 – паровоздушная смесь; 9 – свеча в атмосферу

Рассмотрим недостатки и преимущества генераторного газа по сравнению с другими видами топлива.

Преимущества:

- в процессе сжигания дров (особенно в том случае, если эти дрова содержат большое количество влаги) нельзя достичь настолько высоких температур, какие достигаются при сжигании генераторного (пиролизного) газа;

- для сжигания древесного газа необходимо значительно меньшее количество вторичного воздуха, чем для горения обычной древесины или угля. Соответственно при одинаковом количестве воздуха эффективность сгорания газа выше, температура выше и время горения больше;

- при сгорании древесного газа образуется крайне небольшое количество золы и сажи. Поэтому пиролизный котел редко нуждается в чистке – обычно не чаще, чем раз в неделю;

- сгорание пиролизного газа происходит с малым выбросом в атмосферу вредных веществ, что придется по душе любителям экологически чистых источников тепла;

- пиролизный котел дольше работает на одной закладке дров, чем обычный твердотопливный.

Недостатки:

- относительно высокая стоимость пиролизных котлов – в среднем, котлы этого типа дороже твердотопливных в 1,5–2 раза;
- довольно высокая чувствительность к содержанию влаги в дровах. При повышении процентного содержания влаги в древесине мощность котла резко снижается;
- большинство пиролизных котлов энергозависимы и требуют подключения к электросети. Правда, энергии котел потребляет очень мало (так как требуется она в основном для вентилятора), так что полностью снабдить пиролизный котел электроэнергией может любой источник альтернативной энергии, генератор или обычная электросеть.

УДК 621.548

Лукьянова К. С., Фазлиахметова М. Ф., Гюнтер Д. А.
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ,
kiss.kris@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА В Г. ОРСКЕ

С каждым годом на бытовые нужды расходуется всё большая доля электроэнергии, в огромных масштабах растёт применение бытовой электрифицированной техники. Одним из способов уменьшения затрат электрической энергии является использование альтернативных источников энергии. Так, в 2008 г. Правительство России задалось целью довести мощность возобновляемых источников энергии к 2020 г. до 4,5 % от общего производства энергии в стране, или 22 ГВт [1]. Согласно Федеральному закону «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ [2], начиная с 1 января 2010 г., государственное (муниципальное) учреждение обязано обеспечить снижение в сопоставимых условиях объема потребленных им воды, дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля в течение пяти лет не менее чем на пятнадцать процентов от объема фактически потребленного им в 2009 г. каждого из указанных ресурсов с ежегодным снижением такого объема не менее чем на три процента.

Наибольших успехов в мире среди возобновляемых источников энергии достигла ветроэнергетика, которая на сегодняшний день является самой быстроразвивающейся отраслью. Перспективным направлением является применение ветроэнергетической установки (ВЭУ) малой мощности для частичной экономии электроэнергии на нужды индивидуального жилого дома, малого предприятия. Город Орск рассматривается как территория с высоким ветровым потенциалом, благодаря своему расположению в лесостепном поясе страны.

Как известно, данные о скорости ветра, получаемые на метеостанциях, могут характеризовать ветровой режим в некоторой области установки станции, так как характер подстилающей поверхности сильно влияет на скорость и направление ветра. Под влиянием различных факторов природного или техногенного происхождения скорость ветра может как ослабевать, так и усиливаться. Для приведения параметров ветра к открытой местности имеются специальные методики [3], но все они разрабатывались для равнинной территории, орографической зоны Южного Урала дают существенную погрешность. Поэтому наблюдение за ветром (рис. 1) на площадке предполагаемого расположения ВЭУ даст исчерпывающую информацию о характере ветрового потока с учетом местных условий.



Рис. 1. Участок в районе ОЗТП, выделенный прямоугольником, на котором производились экспериментальные измерения скорости ветра

Суммарно было произведено порядка 2000 измерений (8 измерений в сутки). Измеряемой величиной была усредненная за время скорость ветра, а также направление ветра.

По имеющимся данным была построена роза ветров (рис. 2). Как следует из рисунка, преимущественные направления ветра в весенне-летний период фиксировались в западном секторе (от юго-западного до северо-западного направления).

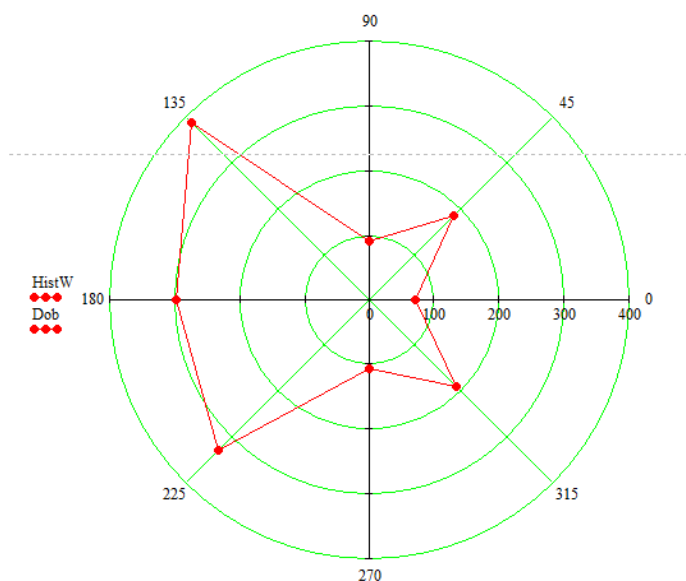


Рис. 2. «Роза ветров» в районе Орского аэропорта

По определению средняя удельная мощность ветрового потока

$$\langle N \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что для оценки удельной мощности необходимо знание повторяемости различных скоростей ветра на исследуемом участке, так как в общем случае $\langle v \rangle^3 \neq \langle v^3 \rangle$. Поэтому для определения средней кубической скорости ветра $\langle v^3 \rangle$ необходимо воспользоваться следующей формулой усреднения:

$$\langle v^3 \rangle = \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv, \quad (2)$$

где $f(v)$ – дифференциальная функция вероятности распределения скоростей ветра.

В диссертационной работе [4] было показано, что в качестве функции распределения для аппроксимации статистических данных скоростей ветра корректные результаты дает распределение Вейбулла-Гудрича, которое имеет вид

$$F(v) = 1 - \exp \left(- \lambda \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (3)$$

Здесь λ и δ – параметры распределения, которые необходимо определить путем обработки экспериментальных данных.

Исходный массив данных подвергся математической обработке. В качестве теоретической интегральной функции распределения для аппроксимации статистических данных скоростей ветра, как было сказано выше, использовали распределение Вейбулла-Гудрича. Параметры распределения определялись с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

$$\lambda = 1,272, \delta = 1,314. \quad (4)$$

Заметим, что полученные числовые значения (4) согласуются в пределах 5 % с данными, приведенными в работе [3], по Оренбургской области. При этом коэффициент корреляции между экспериментальными значениями и аппроксимирующей кривой составил $r = 0,999$ (рис. 3).

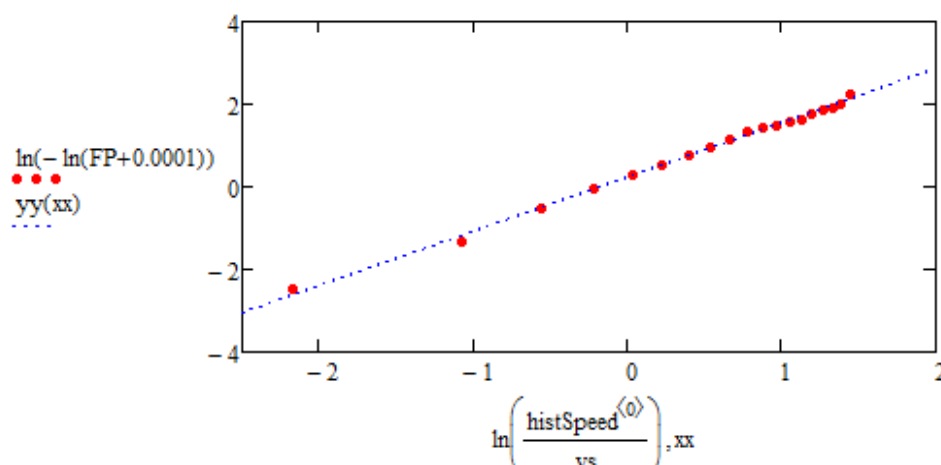


Рис. 3. Точками отмечены экспериментальные значения, пунктирная линия – аппроксимирующая кривая, полученная МНК

Дифференциальный закон распределения скоростей ветра найден по известному соотношению

$$f(v) = \frac{dF(v)}{dv} = \frac{\lambda \delta}{\bar{v}} \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta-1} \cdot \exp \left(-\lambda \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (5)$$

На рис. 4 (б) приведена гистограмма распределения скоростей ветра по градациям с шагом 1 м/с и вид функции плотности распределения скоростей ветра (5), которая представлена сплошной кривой.

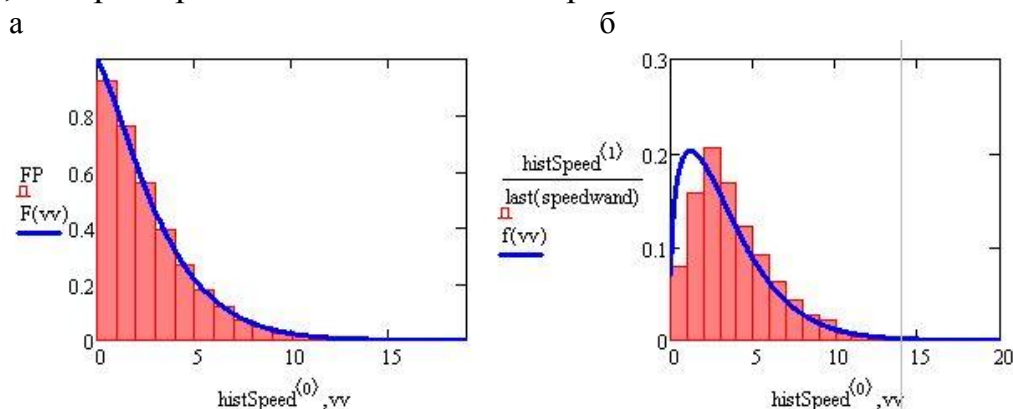


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных (представленных в виде гистограмм) с найденными теоретическими функциями (сплошные кривые)

Как видно из рис. 4 (а), интегральная функция $(1 - F(v))$ с хорошей точностью описывает имеющиеся экспериментальные данные.

Таким образом, зная дифференциальную функцию распределения (5), можно определить по формуле (2) среднюю кубическую скорость, а также среднюю скорость ветра на рассматриваемом участке:

$$\langle v \rangle = 4,4 \text{ м/с}, \quad \langle v^3 \rangle = 127,6 \text{ м}^3/\text{с}^3. \quad (6)$$

Принимая плотность воздуха равной $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, удельная мощность ветрового потока по формуле (1) на высоте 12 м будет

$$\langle N \rangle = 77 \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. С помощью экспериментальных данных определена средняя мощность ветрового потока участка, которая составила величину 77 Вт/м^2 на высоте 12 м.

2. Для моделей ВЭУ малой мощности, с высотой мачты 12 м и радиусом лопастей от 2,5 до 5 м с учетом оценки (7), получаем величину вырабатываемой мощности от 500 до 1500 Вт (с учетом коэффициента использования ветра и КПД установки);

3. Найденная функция плотности распределения скорости ветра позволяет определить повторяемость различных градаций скорости за исследуемый период (таблица).

Повторяемость различных градаций скорости ветра за период весна-осень 2014 г., %

Менее 3 м/с	От 3 м/с до 15 м/с	Более 15 м/с
53	46	1

Можно произвести оценку количества вырабатываемой ВЭУ электроэнергии за год с помощью выражения

$$D = 8,76 \cdot k \langle N \rangle S, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (8)$$

где k – коэффициенты повторяемости скоростей ветра, являющиеся допустимыми для работы ВЭУ; $\langle N \rangle$ – средняя удельная мощность ветрового потока; S – площадь ометаемой лопастями поверхности.

Подставляя в формулу (8) найденные нами значения, получим выработку ВЭУ, с радиусом лопастей 3 м, 8773 кВт·ч в год.

4. Ввиду относительной удаленности от города Орска местности с хорошими орографическими показателями и приемлемой удельной мощностью ветрового потока, на данном этапе продолжается сбор экспериментальных данных для обоснования возможности постройки ветропарка.

Список литературы

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (в ред. от 04.10.2014) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 28.12.2013). [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/12171109/1/#block_100 (дата обращения: 28.10.2014).
2. Рензо Д. Ветроэнергетика / под ред. Я. И. Шефтера. М. : Энергоатомиздат, 1982. С. 4–35.
3. Анапольская Л. Е., Гандин Л. С. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология. 1978. № 7. С. 11–17.
4. Рыхлов А. Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: на примере юго-востока Европейской территории России: автореферат дис. ... д-ра географ. наук: 25.00.30 / Рыхлов Александр Богданович. Казань, 2012. – 36 с.: ил. РГБ ОД, 9 12-5/2938.

УДК 621.548

Лунегов Г. В., Немков Д. А., Попов А. И.
Уральский федеральный университет,
kanductor@gmail.com

ТЕРМОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ВЕТРОУСТАНОВКА

Известно «золотое правило» ветроэнергетики: при среднегодовой скорости ветровых потоков менее 5 м/с, ветроэнергетические установки (ВЭУ) неэффективны и, как правило, себя не окупают.

На равнинной территории Российской Федерации в большинстве регионов, по данным метеорологических служб, среднегодовая скорость ветра равна 2–4 м/с, поэтому ВЭУ работают эпизодически в короткие отрезки времени, как правило, поздней осенью и зимой.

Повысить стабильность работы и расширить временные отрезки работы ВЭУ можно за счет использования восходящих потоков.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ запатентована термоэнергетическая установка [1], использующая для получения электрической энергии одновременное воздействие ветровых пото-

ков и воздействие от искусственно создаваемых потоков, например от сбросного тепла АЭС, ТЭЦ и т.п.

Изобретение относится к ветроэнергетике и может быть использовано для получения механической или электрической энергии. Ветроустановка содержит неподвижный несущий корпус, вертикальную ось, соединенную с ротором в верхней части, электрогенератором и побудителем тяги в основании корпуса, выполненным в виде кольцевой камеры ввода горячего воздуха от дополнительно введенного и расположенного в потоке теплообменника «вода-воздух». Над камерой на оси установлено ветроколесо, а по образующей корпуса выполнены окна, в которых размещены лопасти тангенциально к его окружности. В потоке дополнительно установлено устройство для аэрации жидкости, вход которого подключен к выходу теплообменника, а его выход с влажным горячим воздухом соединен с кольцевой камерой побудителя тяги. На вертикальной оси между ротором и ветроколесом установлена обгонная муфта, ротор – в конусной части несущего корпуса, а на его оголовке расположен разряжитель воздуха. Ветроустановка может быть использована для выработки электрической энергии из тепловых сбросов воды в пруды-охладители АЭС, ТЭЦ и др. путем преобразования их в вихревые потоки для функционирования ветроустановки.

Известны устройства аналогичного назначения, например ветродвигатель по авторскому свидетельству №1245744 [2]. Данный ветродвигатель имеет сложную конструкцию, трудно реализуемую на практике, и требует наличия для его эффективной работы невозобновляемого органического топлива: нефти, солярки или керосина. Это противоречит концепции использования возобновляемой энергетики, в т. ч. ветровой.

Известна также ветрогенераторная тепловая электростанция – ВГТЭС по патенту №2439366 [3]. Основной недостаток данного ветродвигателя также в том, что для его эффективного использования необходимо создание воздушной тяги за счет сжигания твердого топлива, а также наличие жидкого топлива для розжига твердого через распылительные форсунки.

Кроме того, известна аэродинамическая установка по патенту № 2415297 [4]. В данной установке весьма мал объем захвата естественного ветрового потока, который проходит по нижнему основанию башни. Принцип работы данного устройства основан на создании тяги от дымовых газов, подаваемых в вытяжную башню на верхний уровень через кольцевую систему распределения дымовых газов.

Таким образом, естественный скоростной напор ветрового потока в данной установке практически не учитывается, а выходная мощность устройства будет определяться тепловой мощностью дымовых газов, создающих внутри башни смешанный с воздухом восходящий поток.

Задачей предлагаемого технического решения является устранение указанных недостатков.

Технический результат предлагаемого решения заключается в следующем:

- увеличение эффективности установки за счет использования горячего воздуха от тепловой энергии воды после охлаждения ею агрегатов АЭС, ТЭЦ и т.п.;
- увеличение эффективности установки за счет создания вихревой структуры потока внутри несущего корпуса ветроустановки;
- повышение эффективности установки за счет насыщения горячего воздуха парами воды и увеличение его плотности;
- повышение эффективности установки за счет увеличения ометаемой поверхности ветровым потоком по всей высоте несущего корпуса.

На рис. 1 изображена в разрезе конструкция термоэнергетической ветроустановки, а на рис. 2 – вид А-А.

Термоэнергетическая ветроустановка содержит неподвижный несущий корпус 1, вертикальную ось 2, ротор 3, электрогенератор 4, кольцевую камеру 5 ввода горячего воздуха, теплообменник 6 типа «вода-воздух», размещенный в потоке горячей воды ($V_{Г.В}$), охлаждающего агрегата АЭС, ТЭЦ и т.п. Горячий воздух через вентиль 7 и кольцевую камеру поступает на дополнительное ветроколесо 8, расположенное внизу корпуса. Ветровой поток ($V_В$) воздействует на тангенциально установленные лопасти 9, создает дополнительный вихрь в корпусе. Устройство 10 для аэрации жидкости также установлено в потоке горячей воды ($V_{Г.В}$), выход его через вентиль 11, подключен к штуцеру 12 входа в кольцевую камеру. Для согласования режимов работы ротора и ветроколеса на оси использована обгонная муфта 13. Конструкция корпуса (рис. 2) может, например, состоять из стоек 14, к которым в окнах 15 крепятся лопасти. Для слива возможного конденсата воды предусмотрен вентиль 16.

Термоэнергетическая установка работает следующим образом. Поток горячей воды ($V_{Г.В}$) выходящий после охлаждения агрегатов АЭС, ТЭЦ в пруд-охладитель, омывает один или несколько последовательно соединенных и погруженных в поток теплообменников 6 типа «вода-воздух». Горячий воздух под действием конвекции, разряжения в корпусе или под действием дополнительного вентилятора (не показан на рис. 2, 3) поступает через вентиль 7, штуцер 12 в кольцевую камеру 5 и приводит во вращение ветроколесо 8, закрепленное на оси 2. Вращение ветроколеса создает вихревой восходящий поток горячего воздуха внутри корпуса установки.

Одновременно ветровой поток ($V_В$) действует по всей высоте корпуса, что увеличивает площадь ометания, на тангенциально установленные лопасти 9, которые закручивают согласно в том же направлении смешанный с горячим воздухом восходящий ветровой поток, усиливая его энергетическую составляющую.

В конической верхней части корпуса восходящий поток уплотняется и поступает на ротор 3, закрепленный на вертикальной оси 2. Также в конической части установлен стандартный разряжитель воздуха, создающий дополнительное разряжение (подсос) воздуха из несущего корпуса. Вращающаяся ось 2 передает суммарный момент вращения от ротора 3 и ветроколеса 8 на электрогенератор 4 или на другой исполнительный механизм.

При отсутствии или при слабом ветровом потоке (V_B) обгонная муфта 13 передает усилие на центральную ось 2 только от ветроколеса 8. При средних по скорости ветрах ротор и ветроколесо работают совместно. Если скорость ветра возросла выше допустимых пределов, ротор 3 будет вращаться быстрее ветроколеса 8 и не будет передавать усилие вращения на генератор 4. Защиту от бурового ветра можно предусмотреть также закрыванием окон лопастями 9, поворачивающимися на стойках 14.

Энергетическая характеристика любой ветроустановки зависит от скорости потока, площади ометания и от плотности воздуха.

Плотность воздуха зависит от его влажности. В данной конструкции влажность воздуха создается за счет пропускания горячего воздуха от теплообменников 6 через устройство 10 для аэрации жидкости. Такого рода устройства широко используются в технологиях флотации для получения цветных и редкоземельных металлов, а также в системах очистки питьевых водоемов и в системах очистки сточных вод.

Воздух от теплообменников 6 проходит в заглубленную часть устройства 10 и создает большую массу влажных пузырьков воздуха, которая через вентиль 11 и штуцер 12 поступает в кольцевую камеру 5, усиливая давление на ветроколесо 8. Получив завихрение внутри корпуса и смешавшись с ветровым потоком (V_B), насыщенный влагой восходящий поток также с большей силой воздействует на ротор 3.

Регулировать обороты электрогенератора возможно положением лопастей 9, а также объемом пропущенного воздуха через вентили 7 и 11.

Предложенная термознергетическая установка может использоваться в зонах отчуждения АЭС, ТЭЦ для преобразования тепловых сбросов в пруды-охладители путем создания восходящих ветровых потоков в корпусе башни для выработки резервной электрической энергии.

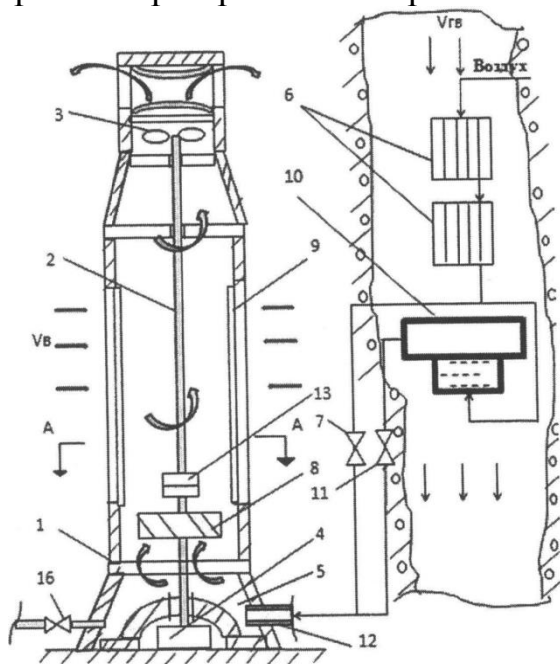


Рис. 1. Термознергетическая ветроустановка

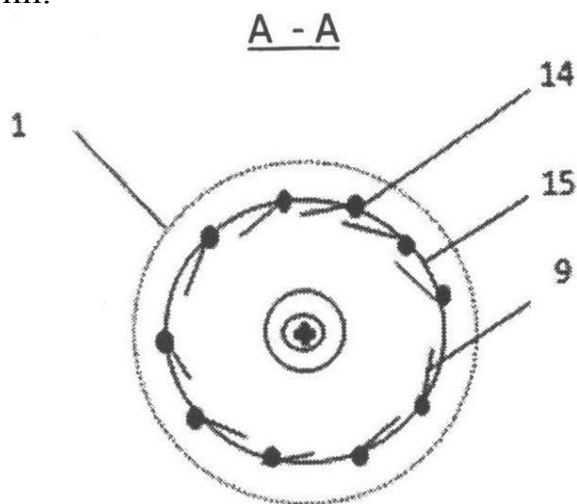


Рис. 2. Разрез A-A

Список литературы

1. Термоэнергетическая ветроустановка: пат. 2505704 РФ, МПК F03D 9/00, F28C 3/02 / Щеклеин С. Е., Попов А. И.; заявл. 04.12.12; опубл. 27.01.14.
2. Ветродвижитель: а. с. 1245744 СССР, МПК F03D 5/00 / Р. С. Колобушкин [и др.]. № 3709291/25–06; заявл. 07.03.84; опубл. 23.07.86.
3. Ветрогенераторная тепловая электростанция – ВГТЭС: пат. 2439366 РФ, МПК F03D 1/00 / Магомедов А. Ш. № 2009130989/06; заявл. 14.08.2009; опубл. 10.01.2012.
4. Аэродинамическая установка: пат. 2415297 РФ, МПК F03D 9/00 / Соловьев А. А., Чекарев К. В. № 2009140198/06; заявл. 02.11.2009; опубл. 27.03.2011.

УДК 620.97

Майоров А. А., Денисов К. С., Велькин В. И.
Уральский федеральный университет,
denser93@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ МИКРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ НА БАЗЕ ВИЭ

Актуальность применения модульных установок высокой заводской готовности обусловлена для России целым рядом обстоятельств [1]:

- необходимостью повышения надежности энергообеспечения децентрализованных потребителей;
- требованием высокого уровня готовности оборудования к развертыванию и запуску;
- отсутствием навыков эксплуатации высокотехнологичного оборудования у населения;
- удаленностью территорий расположения объектов потребителя и отсутствием сервисного обслуживания в течение длительного времени.

Основная идея модульного кластера ВИЭ – создание контейнерной конструкции с размещением в ней оборудования ВИЭ, оптимизированного под конкретные условия территории (с учетом актинометрических и ветровых характеристик, наличия гидротехнических сооружений, рельефа местности, окружающей растительности, сельскохозяйственных производств). Размещение оборудования в контейнере выполняется в соответствии с требованиями эргономики, ОТ и ТБ и удобства пользования потребителем.

Пример контейнера-модуля комплекса ВИЭ приведён на рис. 1.

Среди задач, которые могли бы, в частности, решать кластеры ВИЭ в модульном исполнении:

- надежное энергоснабжение средств связи и жизнеобеспечения для Минобороны на удаленных объектах;
- энергоснабжение аварийных участков и строящихся объектов Минтранса;

– решение задач Министерства ЧС по энергоснабжению в период катастроф и природных катаклизмов

– катодная защита подземных участков нефте- и газопроводов;

– обеспечение электрической и тепловой энергией коттеджных поселков и коллективных садов, метеостанций, геологических партий, пастбищ и пасек;



Рис. 1. 20-футовый контейнер для оборудования ВИЭ

– энергоснабжение удаленных или децентрализованных объектов инфраструктуры: мачт сотовой связи, маяков, систем связи и военных объектов.

Линейка кластеров ВИЭ в модульном исполнении может представлять из себя [2]:

по мощности (кВт): 0,5; 1,0; 1,5; 4,0; 8,0; 16,0; 32,0;

по составу оборудования кластера ВИЭ:

h-кластер ВИЭ (ДГ+ВЭУ+ АКБ) или (ФЭП+ВЭУ+АКБ);

k-кластер ВИЭ (ФЭП+ВЭУ+мГЭС+АКБ) или (ДГ+ФЭП+ВЭУ+АКБ);

p-кластер ВИЭ (ДГ+ФЭП+ВЭУ+мГЭС+АКБ) или (ФЭП+ВЭУ+СК+ТН+АКБ);

s-кластер ВИЭ (ДГ+ФЭП+ВЭУ+мГЭС+БГУ+АКБ).

Уточненная конфигурация (состава и мощности каждого вида оборудования) модульного кластера ВИЭ зависит от конкретных условий территории, на которой предполагается его использование [3]. Оптимизация осуществляется с помощью специально разработанной компьютерной программы «АРК-ВИЭ» [4] с применением математических методов оптимизации (поиск глобального минимума выпуклой функции).

Возможный набор оборудования модульной микроэлектростанции на базе ВИЭ самый разнообразный. ДГ, ВЭУ, ФЭП, мГЭС, СК, ТН, БГУ – все может быть использованным в комплексной системе.

Возможный набор основного оборудования в составе модульного кластера ВИЭ: дизель-генератор (ДГ), фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), ветроэнергетические установки (ВЭУ), микроГЭС (мГЭС), тепловой насос (ТН), биогазовая установка (БГУ) и др.

Для обеспечения функционирования потребителей контейнер оборудуется вспомогательными устройствами: инвертором, контроллером, АКБ, LED-светильниками, распределительным шкафом (ШР), набором кабелей, комплектом розеток. Характеристики оборудования в транспортном контейнере представлены в таблице.

Состав основного оборудования модульных микроэлектростанций на базе ВИЭ высокой заводской готовности зависит от условий предполагаемой территории его использования. Компоновка оборудования внутри контейнера является непростой задачей, так как необходимо разместить различные виды ВИЭ в разобранном виде и иметь возможность их быстрого развертывания на месте дислокации.

Характеристики оборудования в транспортном контейнере

Оборудование	1 шт.	Количество	Суммарное значение
Солнечные панели ФЭС, кВт	0,250	8	2
Ветроэнергетическая установка, кВт	1	2	2
АКБ гелиевые, А·ч	200	12	2400
Инвертор, кВт	6	1	6
Дизель-генератор	5	1	5
мГЭС с ротором «Банки», кВт	2,5	1	2,5
Солнечный коллектор вакуумный		3	
Емкость для горючего, л	200	1	200
Шкаф распределительный		1	
Пульт управления		1	
Набор подключенных розеток		5–10	
Шлейф (кабель к потребителю), м	100	1	100
Аппаратура КИП и дистанционного контроля		1	
Резервуар-теплообменник (бак-аккумулятор), л	200	1	200

Схема размещения оборудования в контейнере представлена на рис. 2.

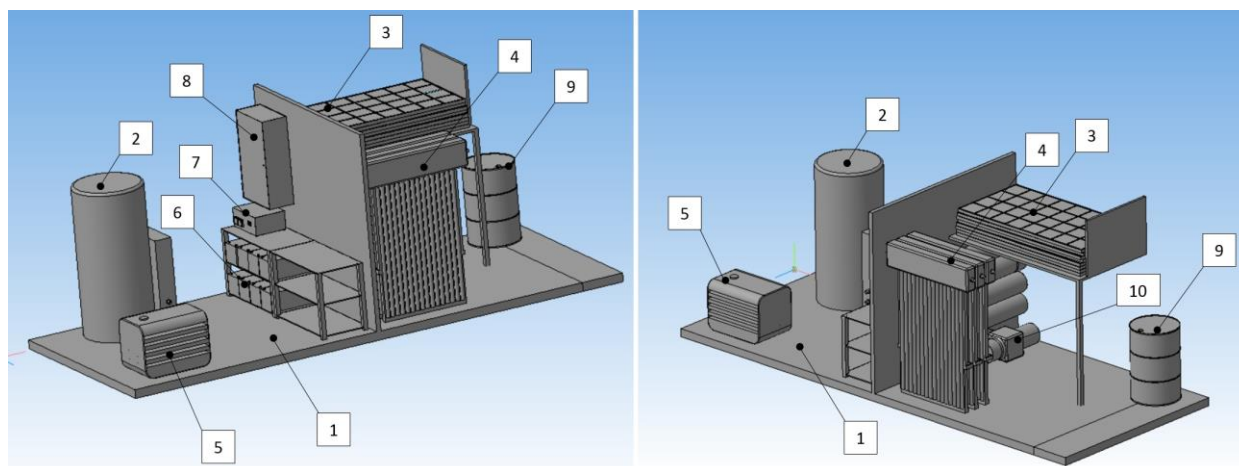


Рис. 2. Схема размещения основного и вспомогательного оборудования ВИЭ в микромодуле высокой заводской готовности:

1 – платформа контейнера; 2 – бак; 3 – ФЭС; 4 – СК; 5 – ДГ; 6 – АКБ; 7 – инвертор; 8 – ШР; 9 – емкость для горючего; 10 – мГЭС

Список литературы

1. Велькин В. И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 2. С. 67–71.

2. Велькин В. И., Логинов М. И. Выбор оптимального состава оборудования в кластере возобновляемых источников энергии на основе регрессионного анализа // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 100–104.
3. Графический анализ экспериментальных данных и результатов математической модели кластеров ВИЭ / В. И. Велькин, С. Е. Щеклеин, М. И. Логинов, Е. В. Чернобай // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 2. С. 131–136.
4. Программа автоматизированного расчета кластера ВИЭ «АРК-ВИЭ»: св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013613097 / В. И. Велькин, М. И. Логинов, Е. В. Чернобай. Зарег. 2013. 25 мар.

УДК 621.577

Манылов С. А., Лебле Г. В., Шемпелев А. Г., Суворов Д. М.
Вятский государственный университет (г. Киров),
sergei_manylov@mail.ru

ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ МАЛОЙ ГЭС

В последнее время довольно часто высказываются мнения об актуальности развития возобновляемых источников энергии, в частности малых ГЭС. Использование таких станций решит проблему доступной электроэнергии для сельского хозяйства и малых предприятий, удаленных от источников снабжения.

Наличие МГЭС решит проблему локального электроснабжения предприятия либо других объектов, но остается ещё одна потребность, а именно потребность в тепловой энергии. Эту проблему можно решить путем совместной выработки как тепловой, так и электрической энергии на одной станции за счет использования теплового насоса. Часть выработанной электрической мощности идёт на привод компрессора, который обеспечивает бесперебойную работу теплового насоса, остальная часть идёт на нужды потребителей электроэнергии.

Далее представлена схема такого источника энергоснабжения на основе МГЭС с установленной двухступенчатой теплонасосной установкой (рис. 1).

В качестве примера по методике, изложенной в [1], проведен расчет источника теплоснабжения с двухступенчатой высокотемпературной испарительной установкой, имеющей в качестве источника низкопотенциальной теплоты воду с нижнего бьефа и нагревающей прямую сетевую воду до 90 °С, установленного на русловой плотине, при следующих исходных данных:

$t_{\text{исп}} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$; хладагент R-21 (рис. 2).

Установка находится на сбросе воды с конденсатора: $Q = 6,2\text{ м}^3/\text{с}$, $H_T = 9\text{ м}$, $\eta_{\text{ГЭС}} = 0,82$, $\eta_{\text{компрессора}} = 0,75$.

Мощность гидротурбины определяется как

$$N_T = 9.81 \cdot Q \cdot H_T \cdot \eta_T.$$

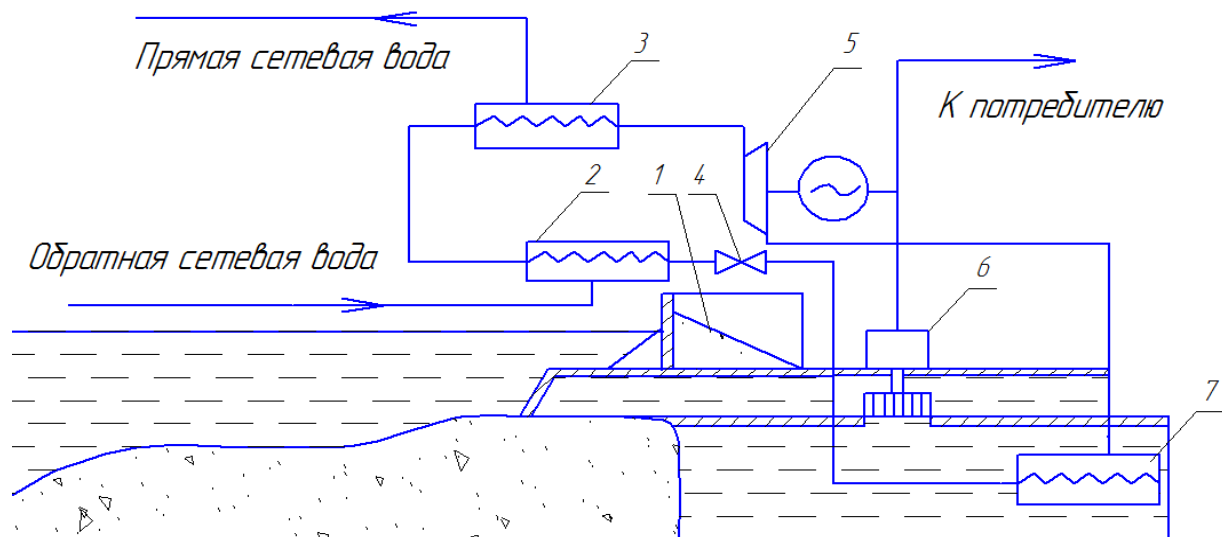


Рис. 1. МГЭС с установленной ТНУ:

1 – плотина; 2 – переохладитель; 3 – конденсатор; 4 – вентиль;
5 – компрессор; 6 – турбина и генератор; 7 – испаритель

Зная расход реки, а также напор, можно рассчитать располагаемую электрическую мощность МГЭС, которая полностью или частично может быть использована для привода компрессора ТНУ:

$$N_T = 9,81 \cdot 6,2 \cdot 9 \cdot 0,8 = 437,92 \text{ кВт}.$$

Пусть, например, требуется, чтобы тепловой насос на конденсаторе и охладителе мог выдавать тепловую мощность $Q_{\text{конд}} = 1000 \text{ кВт}$ и нагревать воду с $t_{\text{ГВ1}} = 70^\circ\text{C}$ до $t_{\text{ГВ2}} = 90^\circ\text{C}$ (недогрев в конденсаторе равен 5°C). Процесс в ТНУ изображен на рис. 2. Расход хладагента в верхнем контуре

$$G_H = \frac{Q_{\text{кон}}}{h_5 - h_7} = \frac{1000}{(515 - 308)} = 4,83 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расход хладагента в нижнем контуре:

$$G_L = \frac{G_H}{1 + \delta} = \frac{4,83}{1,194} = 4,05 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Потребление механической энергии на привод 1-й ступени равно 234,90 кВт, 2-й ступени – 77,57 кВт и компрессора в целом – 312,47 кВт.

Электромеханический КПД электродвигателя на валу компрессора $\eta_{\text{эм}} = 0,98$. Потребление электрической энергии на привод компрессора составляет

$$N_э = \frac{N_k}{\eta_{\text{эм}}} = \frac{312,47}{0,98} = 318,85 \text{ кВт}.$$

Коэффициент трансформации тепла определяется по формуле

$$\mu = \frac{Q_{\text{коо}}}{N_э} = \frac{1000}{318,85} = 3,136.$$

Зная коэффициент трансформации тепла, можно найти количество тепла при преобразовании всей электрической энергии с гидротурбины в тепловую:

$$Q = \mu \cdot N_T = 3,136 \cdot 437,92 = 1373 \text{ кВт}.$$

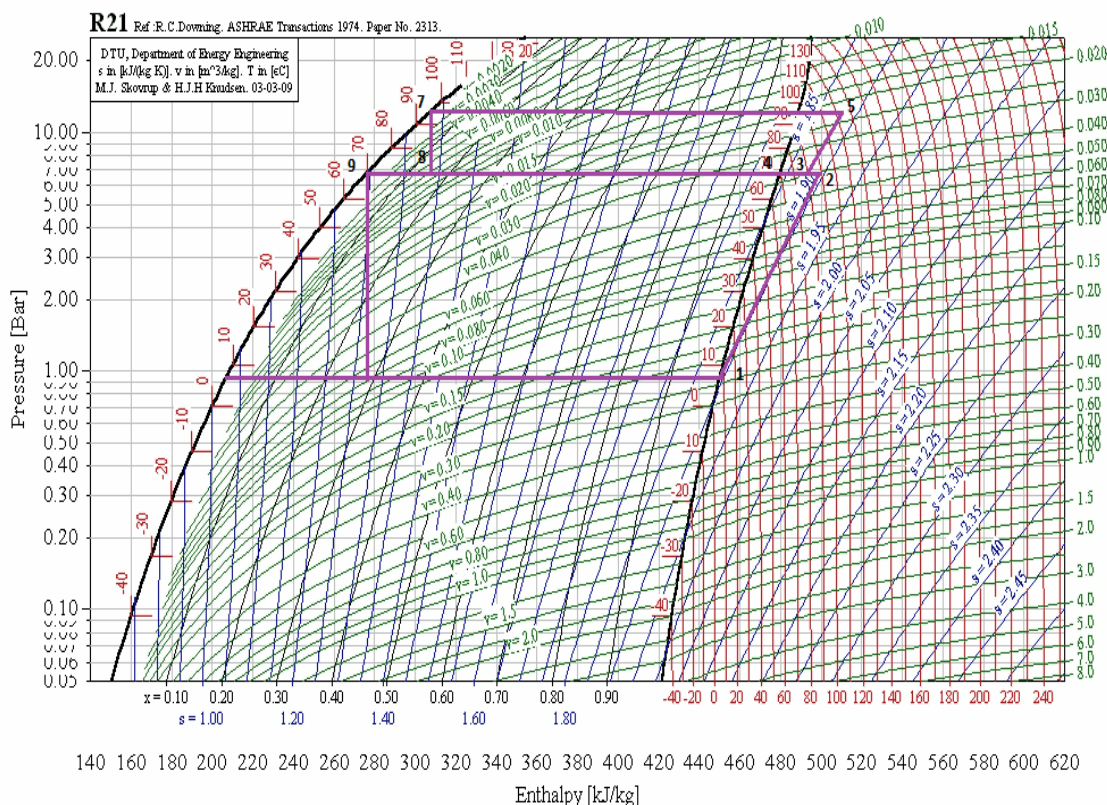


Рис. 2. Диаграмма $lgp-h$ хладагента R-21 и процесс в двухступенчатой ТНУ

Таким образом, используя данный источник энергоснабжения, для данных условий мы можем получить 1373 кВт тепловой энергии при затратах всей вырабатываемой электрической энергии на компрессоры теплового насоса. Обычная гидротурбинная установка дала бы нам только 437,92 кВт электричества. Необходимо отметить, что данная установка способна работать с таким высоким коэффициентом трансформации даже в периоды самых сильных холодов.

Список литературы

1. Султангузин И. А., Потапова А. А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения [Электронный ресурс]. URL : http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2363 (дата обращения: 11.11.2014).

УДК 621.577

Минин А. А., Ткачев В. К., Трубицын К. В.
 Самарский государственный технический университет,
 andr.minin2011@yandex.ru

ВКЛЮЧЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В РАБОТУ БИОГАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Биогазовая система БГС-1, подробное описание и проектирование которой представлено авторами в [1], состоит из метантенка (реактора), газгольдера,

систем загрузки и выгрузки, устройства смешения, выпускного газопровода, а также дополнительных элементов системы, предназначенных для хранения газа, производства тепла и т. д. Для наиболее эффективной ферментации БГС-1 дополняется устройствами теплообмена, в которых в качестве теплоносителя используется вода, подогретая до 50–60 °С.

В текущем исследовании авторы произвели расчет теплонасосной установки (далее – тепловой насос, ТН), предназначенной для выработки тепловой энергии, которая впоследствии может быть использована, к примеру, при сушке продуктов переработки биомассы после анаэробного сбраживания в метантенке [2]. Таким образом, существующую схему биогазовой системы БГС-1 дополним тепловым насосом 4 (рис. 1).

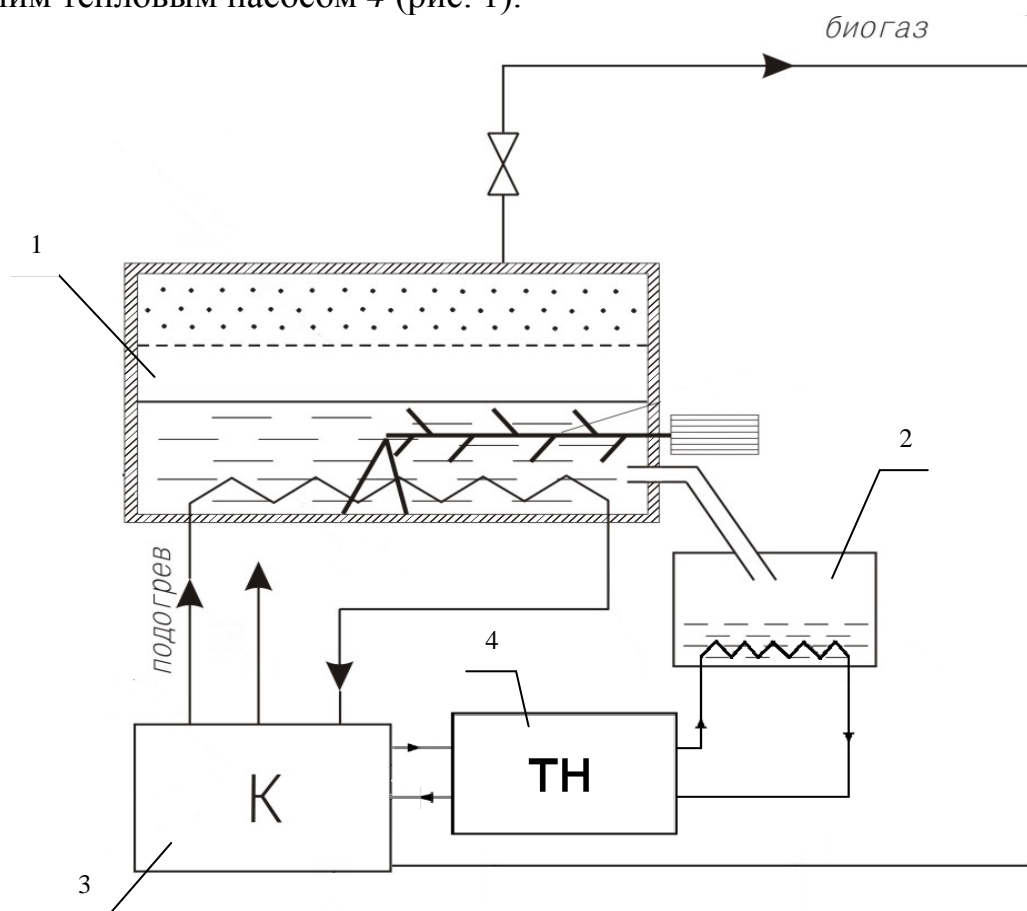


Рис. 1. Включение теплового насоса в схему биогазовой системы БГС-1:
1 – метантенк (реактор); 2 – резервуар для продуктов переработки биомассы;
3 – водогрейный котел; 4 – тепловой насос

Тепловой насос (ТН) переносит теплоту из более нагретых тел. ТН состоит из четырех элементов (рис. 2):

- испаритель;
- конденсатор;
- компрессор;
- разряжающий вентиль.

Эти элементы создают замкнутую систему, по которой циркулирует хлад-агент. В испарителе 1 фреон отбирает теплоту, доставляемую коллектором от источника. Нагретый газ всасывается в компрессор 2, где сжимается и выбрасывается в конденсатор 3. В конденсаторе тепло передается рабочему телу, которое доставляет его к потребителю [3]. Остывший в результате этого фреон через разряжающий вентиль 4 поступает обратно в испаритель, и цикл снова повторяется.

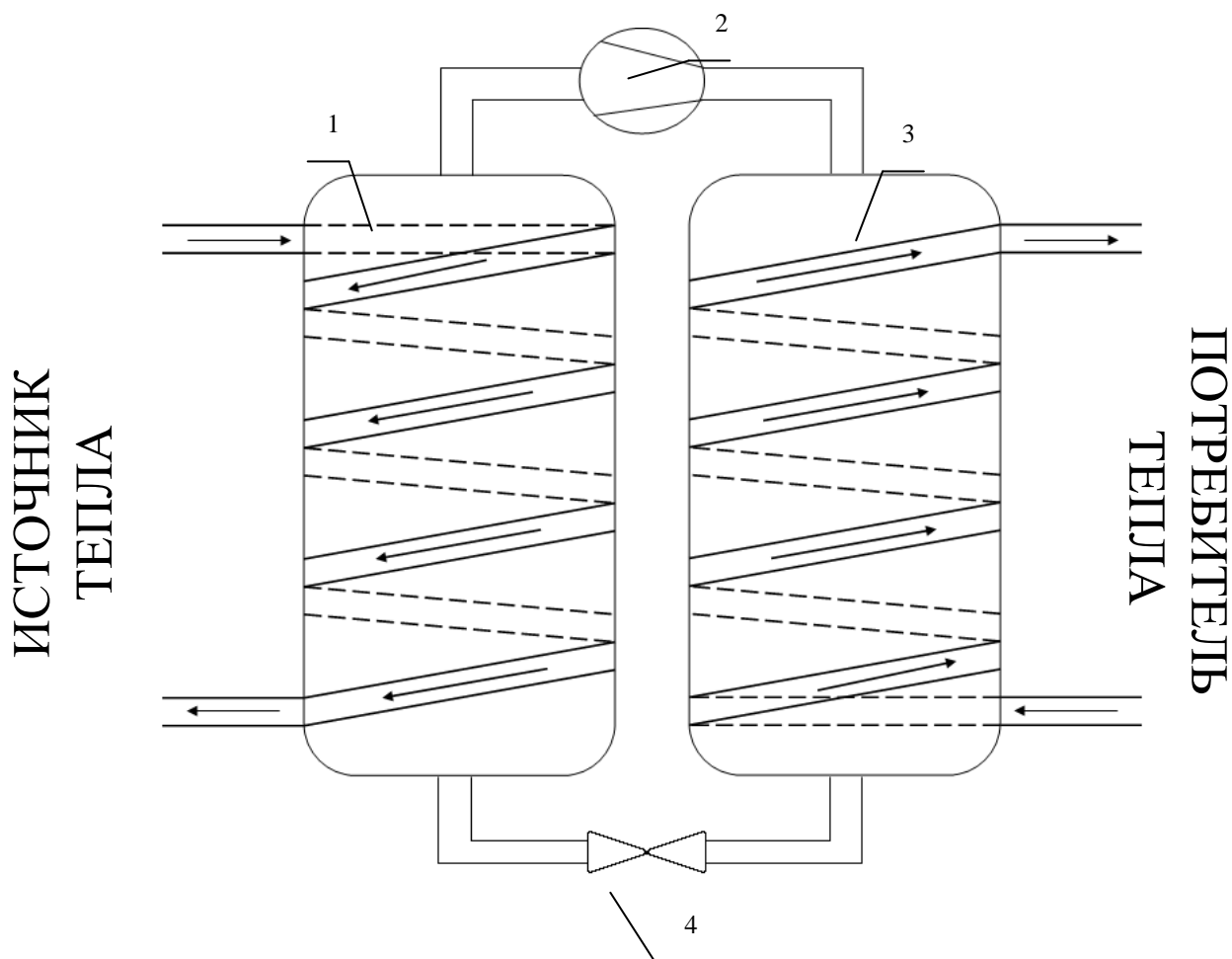


Рис. 2. Принцип работы теплового насоса:

1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – разряжающий вентиль

Для сушки концентрированных удобрений, полученных в результате переработки биомассы, будем доставлять к ним рабочее тело температурой 120 °С. Учитывая потери, коллектор будет доносить до испарителя воду при температуре 60 °С. Возьмем стандартный компрессор, который нагнетает давление до 8 бар. Давление фреона, всасываемого в компрессор, $P_1 = 6,8$ бар. При этом получаемый объем используемого фреона R410a составит 10,8 м³.

Список литературы

1. Ткачев В. К., Бородин Г. И., Трубицын К. В. Проектирование биогазовой системы для предприятий сельского хозяйства Самарской области // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. мат. Всерос.

- студ. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург : УрФУ, 2012. С. 399–401.
2. Шубенко Л. А. Тепловые насосы. М.; Л. : Машгиз, 1947.
3. Гохштейн Д. П. Использование отходов тепла в тепловых насосах. М.; Л. : Госэнергоиздат, 1955. 80 с.

УДК 536.24

Муратова Т. В., Габитов Р. Н., Колибаба О. Б.
Ивановский государственный энергетический университет,
tevp@tvp.ispu.ru

К РАСЧЕТУ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ СЛОЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Слой твердых бытовых отходов представляет собой многокомпонентную неопределенную пористую структуру различного фракционного состава. Расчет процесса нагрева такой структуры невозможен без знания ее теплофизических свойств (ТФС). В большинстве случаев теплофизические свойства определяются исходя из знания объемных долей компонентов слоя ТБО и свойств этих компонентов. При этом влияние температуры, порозности и влажности слоя на ТФС не учитывается.

Целью работы является определение теплофизических свойств, а именно температуропроводности слоя ТБО при изменении его температуры и порозности.

Для исследования температуропроводности слоя твердых бытовых отходов предлагается расчетно-экспериментальный метод, не требующий знания параметров внешнего теплообмена. Сущность метода заключается в том, что образец нагревается произвольным монотонно изменяющимся тепловым потоком. Полученные расчетом значения температур в центральной точке сравниваются с экспериментальными данными в этой же точке при условии минимизации среднеквадратичного отклонения расчета и эксперимента.

Алгоритм расчета эффективного коэффициента температуропроводности слоя ТБО реализован в программном пакете MATCAD. Предлагаемый метод решения обратной задачи теплопроводности опробован для определения эффективного коэффициента температуропроводности слоя ТБО среднего морфологического состава и получения его зависимости от порозности слоя.

Опытные образцы слоя толщиной 50 мм твердых бытовых отходов среднего морфологического состава (бумага – 44,2 %, древесина – 1,8 %, текстиль – 4,7 %, пищевые отходы – 41,8 %, резина – 0,9 %, кости – 1,8 %, пластмасса – 5,3 %) с нулевой начальной влажностью и заданной порозностью нагревали в электрической печи.

В процессе нагрева замерялись температуры обогреваемой и необогреваемой поверхностей с помощью термопар, установленных на поверхности и в

центре образца. Для преобразования полученных с термопар аналоговых сигналов в цифровые использовался модуль ввода ОВЕН МВ8А, а также программа Конфигуратор МВА8 для сохранения полученных значений в памяти компьютера. Экспериментальные температурные зависимости обогреваемой, $T(0, F_0)$, и необогреваемой, $T(1, F_0)$, поверхностей слоя ТБО приведены на рис. 1.

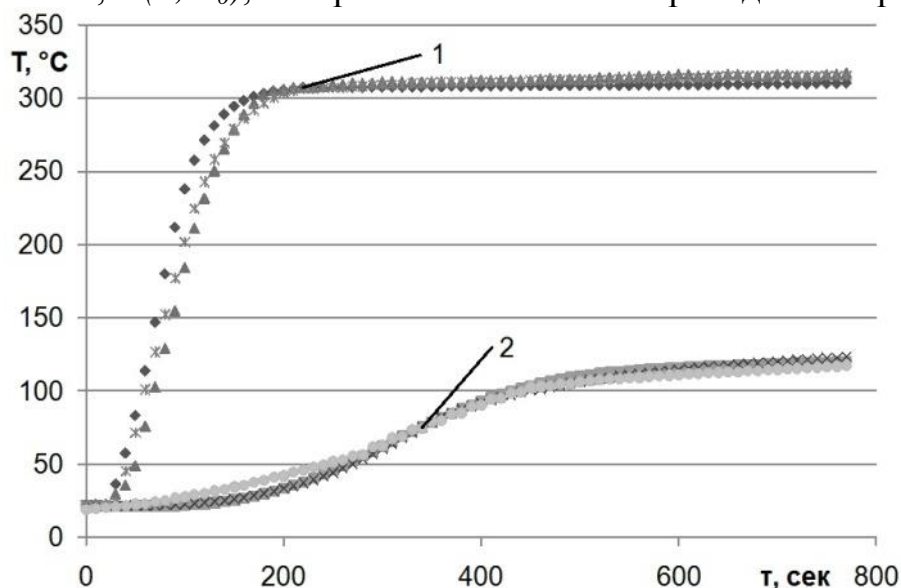


Рис. 1. Экспериментальные кривые изменения температуры поверхности и теплового центра при порозности 0,55:
1 – кривые для поверхности ТБО; 2 – кривая для теплового центра ТБО

Варьируя порозность слоя в интервале от 0,5 до 0,7 и повторяя эксперимент с последующим обращением к программной реализации алгоритма решения ОЗТ, находим соответствующие значения эффективного коэффициента температуропроводности исходя из условия обеспечения среднеквадратичного расхождения расчетных и экспериментальных данных 3 %. С помощью программного пакета TABLECURVE 2D восстановлена квадратичная зависимость эффективной температуропроводности от порозности (рис. 2).

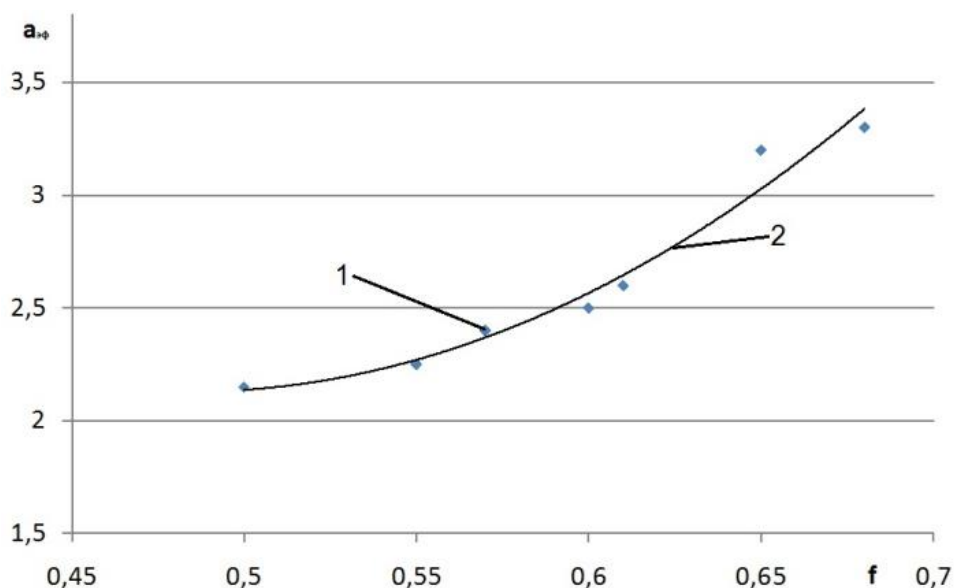


Рис. 2. Зависимость коэффициента температуропроводности

от порозности слоя органосодержащего сырья

Для слоя предварительно высушенных твердых бытовых отходов зависимость эффективного коэффициента температуропроводности от порозности слоя можно рассчитывать по формуле

$$a_{эф} = (10,35 - 33,63f + 34,42f^2) \cdot 10^{-7}.$$

Вывод: Получена зависимость $a_{эф} = (10,35 - 33,63f + 34,42f^2) \cdot 10^{-7}$ эффективной температуропроводности слоя предварительно высушенных твердых бытовых отходов от порозности в интервале температур от 20 до 120 °С, которая может быть рекомендована для расчетов процессов теплообмена в термических реакторах по переработке ТБО.

УДК 620.98

Назарова Е. В., Иванова В. А.,
Мифтахутдинов И. Д., Обухова А. А.
Уральский государственный горный университет,
albert3179@mail.ru

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПЕРЕВОДА МУНИЦИПАЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ТОРФЯНОЕ ТОПЛИВО

В коммунальных услугах значительную долю расходов занимают платежи за отопление, где, в свою очередь, особо выделяются затраты на топливо (до 80 % на мазутных котельных, до 50 % на угольных). Минимизация данных затрат является актуальным направлением развития социальной инфраструктуры.

В настоящее время потребление природного газа в Свердловской области составляет 16,7 млрд м³ в год, потребление угля – на уровне 20–22 млн т. Ежегодно в Свердловскую область ввозится 17746,0 тыс. т угля, в том числе из Казахстана – 13636,8 и из других регионов России – 4109,2 тыс. т.

В то же самое время запасы местного вида топлива – торфа – в Свердловской области значительны. Разведанные запасы торфа в Свердловской области составляют более 5 млрд т, в том числе балансовые запасы – 1,6 млрд т. Восьмой раздел Энергетической стратегии России на период до 2020 года, утвержденной распоряжением правительства РФ от 28.08.2003 г. № 1234-р, определяет значительную роль местных видов топлива при проведении региональной энергетической политики.

Торф – местный и экологически чистый вид топлива. Его теплота сгорания достигает, а иногда и превышает калорийность низкосортных углей, что делает его конкурентоспособным с другими видами топлива (см. таблицу).

Характеристики некоторых видов топлива

Вид топлива	Низшая теплота сгорания		Эквивалент к условному топливу	Зола на рабочую массу, %	Сера на рабочую массу, %
	ккал/кг	МДж/кг			
Условное топливо	7000	29,33	1,0	—	—
Каменный уголь (Инта)	3895	16,32	0,56	38,0	2,8
Каменный уголь (ш. Варгашовская)	5496	23,03	0,78	19,2	1,8
Мазут М-100	9522	39,9	1,36	0,14	3,5
Торфяной брикет и пеллеты	4200	17,30	0,59	4,0-15,0	0,2-0,3
Торф фрезерный, w = 40 %	2200–2592	9,22–10,86	0,31–0,37	2,04–4,10	0,15–0,27
Торф кусковой, w = 33 %	2952–4490	12,37–18,81	0,42–0,64	1,46–2,54	0,17–0,23
Дрова, w = 25–30 %	2440	10,22	0,34	0,60	0,01–0,03

Преимущества от использования биоресурсов на территории Свердловской области: создание новых рабочих мест в связи с загрузкой машиностроительного комплекса и создания новых предприятий; местные виды топлива при сжигании являются более экологически чистыми, чем традиционные уголь и мазут, имеют низкую зольность; скорость роста цен на местные виды топлива существенно ниже скорости роста цен на импортируемые топливные ресурсы; местные виды позволяют снизить зависимость Свердловской области от импортируемых видов топлива.

Учитывая прогнозируемый рост цен на газ и уголь, а также условия выравнивания цен на топливо на внешнем и внутренних рынках при вступлении России в ВТО, местные виды топлива будут конкурировать с традиционными, что ускорит реализацию проектов, использующих биоресурсы Свердловской области в качестве топлива.

УДК 620.92

Насыйрова М. Р., Сарачева Д. А.
Альметьевский государственный нефтяной институт,
teplotexAGNI@yandex.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. Когенерация широко используется в энергетике, например на ТЭЦ с установленными газотурбинными установками, где рабочее тепло после использования в выработке электроэнергии применяется для нужд теплоснабже-

ния. Когенерационные установки широко используются в малой энергетике. И для этого имеются следующие предпосылки:

- тепло используется непосредственно в месте получения, что обходится дешевле, чем строительство и эксплуатация многокилометровых теплотрасс;
- электричество используется большей частью в месте получения без накладных расходов поставщиков энергии, и его стоимость для потребителя может быть несколько меньше, чем у энергии из сети;
- экологичность.

Основные условия для успешного применения когенерационной технологии:

- при использовании когенерационной установки (мини-ТЭЦ) в качестве основного источника энергии, то есть при загрузке 365 дней в году, исключая время на плановое обслуживание;
- при максимальном приближении когенерационной установки (мини-ТЭЦ) к потребителю тепла и электроэнергии: в этом случае достигаются минимальные потери при транспортировке энергии;
- при использовании наиболее дешевого первичного топлива – природного газа.

Наличие сероводорода в природном и попутном нефтяном газе создает большие трудности при промышленной разработке месторождений нефти и газа. Это связано с высокой стоимостью большинства установок сероочистки и сопутствующего оборудования. Наличие в попутном газе даже относительно небольшого содержания сероводорода ($\text{H}_2\text{S} < 1$ об.%) приводит к интенсивной коррозии оборудования, арматуры и трубопроводов. Это затрудняет использование ПНГ как для технологических нужд, так и в качестве бытового топливного газа. В результате возникает необходимость его очистки или применения специального оборудования. Для решения этого вопроса альтернативным вариантом будет введение в эксплуатацию газопоршневой электростанции мощностью 200 кВт (АГП-200) российского производства.

Основное назначение АГП – это выработка электроэнергии за счет сжигания попутного нефтяного газа, как следствие – экономия электроэнергии и защита окружающей среды от вредного воздействия попутного нефтяного газа.

Выбор установки АГП-200 обусловлен следующими причинами:

- стоимость ниже импортных аналогов в 2–2,5 раза;
- гарантия завода-изготовителя работы АГП на топливном газе с высоким содержанием сероводорода (до 4 %);
- простота эксплуатации;
- быстрая окупаемость;
- легкий пуск в условиях низкой температуры;
- дешевая электроэнергия (0,39 руб./(кВт·ч)).

В НГДУ «Ямашнефть» на ДНС-8 Архангельского месторождения внедрена газопоршневая электрическая станция АГП-200С-Т400 (ЗАО «Рыбинск-комплекс») мощностью 250 кВт. Установка рассчитана для работы на попутном нефтяном газе с содержанием сероводорода до 4 %. Преимущества установки

закljučаются в том, что она максимально унифицирована, есть возможность работы с минимальным давлением подаваемого газа, относительно малый срок окупаемости. Но есть и недостатки, такие как относительно большие затраты на обслуживание, увеличение численности обслуживающего персонала, небольшой ресурс работы (10000 часов). Анализируя работу газопоршневой установки в НГДУ «Ямашнефть» в течение 6 месяцев, можно констатировать, что данная установка в процессе эксплуатации работала с перебоями. В основном аварийные вызовы были из-за неполадок комплектующих частей газогенератора.

В настоящее время на мировом рынке также представлено достаточно много зарубежных компаний производителей газопоршневых установок. Наиболее крупные из них – выпускающие ГПУ средней мощности в диапазоне 1–4 МВт на базе газопоршневых двигателей собственного производства. Независимо от вида используемого топлива, наиболее предпочтительны в качестве основного оборудования ГПЭС среднеоборотные установки компании Waukesha серий ATGL и VHP. Основные их преимущества: возможность работы газопоршневой установки с частотой вращения 1000 об/мин на всех видах топлива; надежная работа ГПУ за счет большего объема камеры сгорания; возможность работы газопоршневого двигателя при низком среднеэффективном давлении в менее напряженном режиме; низкие эксплуатационные затраты за счет расширенных интервалов обслуживания; высокий ресурс энергоустановок.

На сегодняшний день возникло множество аргументов для внедрения когенерационных технологий: дешевизна электрической и тепловой энергии (по сравнению с поставляемой из сети), близкое расположение к потребителю, отсутствие необходимости в дорогостоящих ЛЭП и подстанциях, экологическая безопасность, мобильность, легкость монтажа и др.

Таким образом, следует, что у производителей РФ цена за оборудование намного ниже, чем у зарубежных производителей. Однако по качеству зарубежное производство опережает российский рынок. Малая энергетика является не только альтернативой централизованной системе – она становится основой для быстрого развития вновь осваиваемых районов, открывающихся новых производств и расширения существующих.

УДК 621.22

Немков Д. А., Лунегов Г. В., Попов А. И.
Уральский федеральный университет,
xeqlol@gmail.com

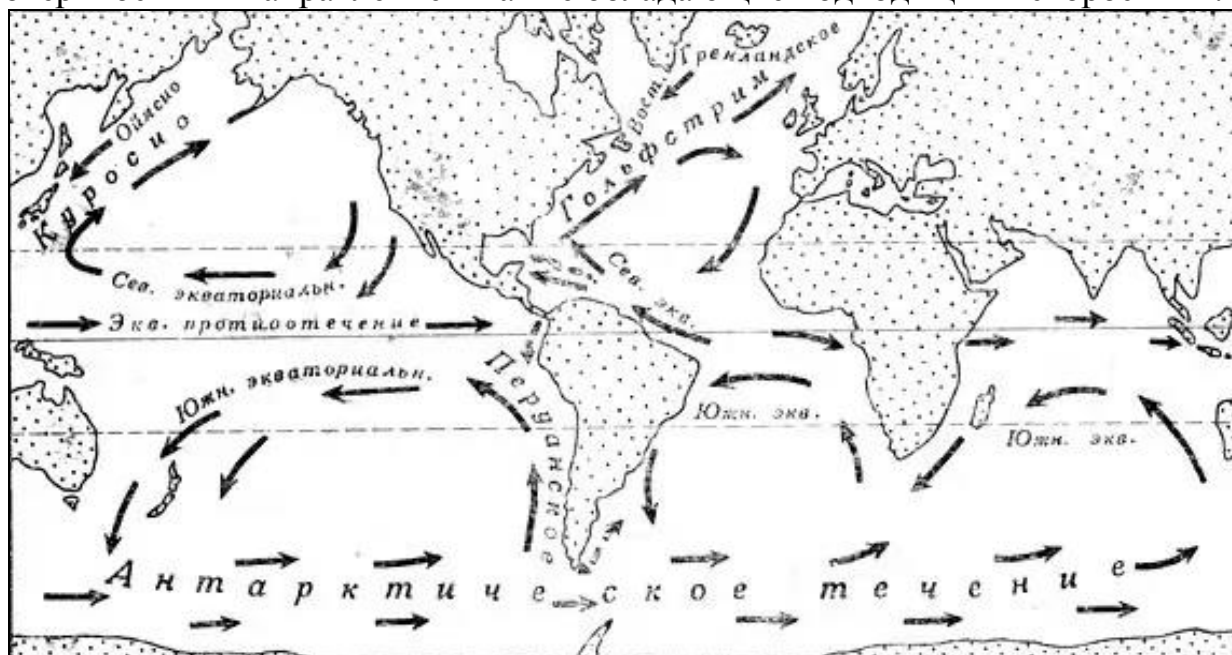
ОКЕАНИЧЕСКИЕ ГЭС И ЭНЕРГИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Причины, вызывающие движение водных масс в океанах, различны. Здесь и действие сил, связанных с образованием градиентов давлений, и влияние ветров над океанской поверхностью, и приливы. В результате сложной связи этих факторов между собой, вращения Земли, взаимодействия образующих-

ся потоков с неровностями дна и берегами в океане возникают совершенно удивительные по своим свойствам течения, в которых энергия концентрируется настолько, что становится оправданной разработка технических решений этого направления энергетики [1].

Если принять за эталон течения со средними скоростями порядка 1 м/с, то можно найти достаточно мест для размещения океанических ГЭС (ОГЭС) и в открытом океане, и вблизи берега. Особенно интересен в этом плане Атлантический океан (Гольфстрим, Северное пассатное, Бенгальское, Гвинейское, Бразильское течения). Менее интересен Индийский океан, хотя и обладающий большой суммарной кинетической энергией (Сомалийское и мыса Игольного течения, отроги течения Западных Ветров). В Тихом океане внимание привлекают Кюросио и его ответвления. Основные океанические течения указаны на рисунке.

Надо отметить, что здесь перечислены только некоторые из Великих океанических течений, используя мощь которых принципиально возможно создать достаточно крупные региональные энергетические объекты (суммарная мощность Гольфстрима, например, оценивается в 15 ГВт, а Кюросио – в 50 ГВт), но существуют еще и течения, вполне подходящие для решения задач местной энергетики. Укажем, например, постоянно действующие течения в Гибралтарском и Баб-эль-Мандебском проливах, приливные течения в Ла-Манше, между рядом островов Курильской гряды и другие течения, где скорости потоков достигают величин порядка 5–8 м/с и соответственно плотности энергии значительно возрастают по сравнению со средними для крупных океанических течений. Причем в проливах можно использовать для нужд энергетики не только поверхностные, но и глубинные потоки, часто имеющие противоположное поверхностным направление и также обладающие подходящими скоростями.



Карта океанических течений

Практически все течения подвержены каким-то изменениям. Сезонно и из года в год изменяются скорости, направления, физические параметры вод. Устойчивость потоков будет определять стабильность работы будущих ОГЭС, и для энергетики, вероятно, особенно интересны те течения, устойчивость которых превышает 50 %. У всех из перечисленных выше течений этот показатель близок к 75 %. Исключение составляет Сомалийское течение, в летние месяцы изменяющее направление движения на противоположное. Средние сезонные колебания расхода воды в Гольфстриме, например, составляют 15–20 % от наибольшего значения, правда иногда отмечаются и большие колебания (величиной до 50 %). Более стабильно Куро시오 (10–15 % колебаний расхода), но в отдельные годы и в нем наблюдались изменения скорости и расхода воды в 50–60 %.

Механическая мощность, которую можно извлечь из океанского течения, определяется тем же соотношением, которое используется для оценки этой величины в ветроэнергетике:

$$P = \eta S \rho \frac{v^2}{2},$$

где η – КПД установки ОГЭС; S – площадь омываемой поверхности; ρ – плотность воды; v – скорость течения [2].

Строительство крупных ветровых турбин (диаметром до 200 м) практически невозможно из-за ограничений, связанных с прочностью материалов и массовыми характеристиками подобных устройств. Для турбин, работающих в морской среде, массовые ограничения менее существенны из-за действия на элементы конструкций силы Архимеда. Кроме того, повышенная плотность воды позволяет уменьшить столь существенное для воздушных турбин воздействие вибраций, вызывающих усталостное разрушение материалов [3].

Важное достоинство океанических течений в качестве источников энергии по сравнению с ветровыми потоками – отсутствие резких изменений скорости. При достаточном заглублении в толщу воды турбины ОГЭС надежно защищены от волн и штормов на поверхности. Для эффективного использования течений в энергетике необходимо, чтобы они обладали определенными характеристиками. В частности, требуются достаточно высокие скорости потоков, устойчивость по скорости и направлению, удобная для строительства и обслуживания география дна и побережья. Удаленность от побережья влечет удорожание транспортировки энергии и обслуживания этих станций, как, впрочем, и любых других. Большие глубины требуют увеличения затрат на сооружение и обслуживание якорных систем, малые – создают помехи судоходству. Именно географические факторы не позволяют сейчас говорить о строительстве ОГЭС в открытом океане, где несут свои воды наиболее мощные течения. При средних и малых глубинах, особенно в местах образования приливных течений, важную роль играет топография дна.

В качестве недостатков преобразователей энергии океанических течений следует отметить необходимость создавать и обслуживать гигантские конструкции в морской воде, подверженность этих конструкций обрастанию и

коррозии, трудности передачи энергии. Также строительство большого числа крупных океанических ГЭС может существенно повлиять на различные характеристики течений, что может повлечь за собой необратимые последствия, такие как изменение климата, вымирание животных и т. д.

В качестве океанических ГЭС могут быть использованы установки, изобретенные на кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ, такие как:

- 1) преобразователь энергии потока (патент № 101739, опубл. 2010);
- 2) роторный гидродвигатель (патент № 2464443, опубл. 2012);
- 3) роторный ветродвигатель с принудительной установкой лопастей (патент № 117523, опубл. 2003);
- 4) бесплотинная шнековая ГЭС (патент № 94642, опубл. 2010);
- 5) ротор (патент № 2246634, опубл. 2005).

Список литературы

1. Энергетический потенциал океанских течений // Альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, энергетические ресурсы планеты. 2010. [Электронный ресурс]. URL: <http://alternativenergy.ru/energiya/96-energiya-techeniy.html> (дата обращения: 10.10.2014).
2. Коробков В. А. Преобразование энергии океана. Л. : Судостроение, 1986. 280 с.
3. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии : пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1990. 392 с.

УДК 662.76

Нестеров С. Д., Ральников П. А., Худякова Г. И.
Уральский федеральный университет,
uge87@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ВИХРЕВОГО ТИПА

Одним из способов надежного и экономически эффективного энергоснабжения отдаленных населенных пунктов является использование местных видов топлива. Наиболее распространенным вариантом местных видов энергоресурсов является твердое топливо, которое без дополнительной обработки малоприспособно для производства электрической энергии и тепла.

Перспективным вариантом подготовки топлива для его использования в энергетических технологиях является поточная вихревая газификация, которая обеспечивается высокотурбулизированным закрученным потоком, позволяющим значительно интенсифицировать процессы тепло- и массообмена, а следовательно, сократить габариты устройств, работающих на данном принципе.

Однако существует проблема высокой сложности управления вихревыми процессами в газификаторе. В целях получения прототипа был разработан ряд технических решений, позволяющих безопасно и эффективно эксплуатировать установки данного типа при приемлемой стоимости их производства.

Автоматизация выполнялась на базе программируемого логического контроллера ПЛК-154 фирмы «Овен» с использованием дополнительных модулей аналогового и дискретного ввода/вывода МВА8 и МДВВ [1]. Выбор данного контроллера был обусловлен его функциональными возможностями, достаточным быстродействием, наличием большого количества интерфейсов связи и низкой стоимостью. Для связи с верхним уровнем использовался Ethernet.

Исходя из особенностей оборудования, сформирован перечень сигналов, подключаемых к программно-техническому комплексу (ПТК). Однако из-за особенностей измерительных преобразователей не все сигналы соответствовали требованиям государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

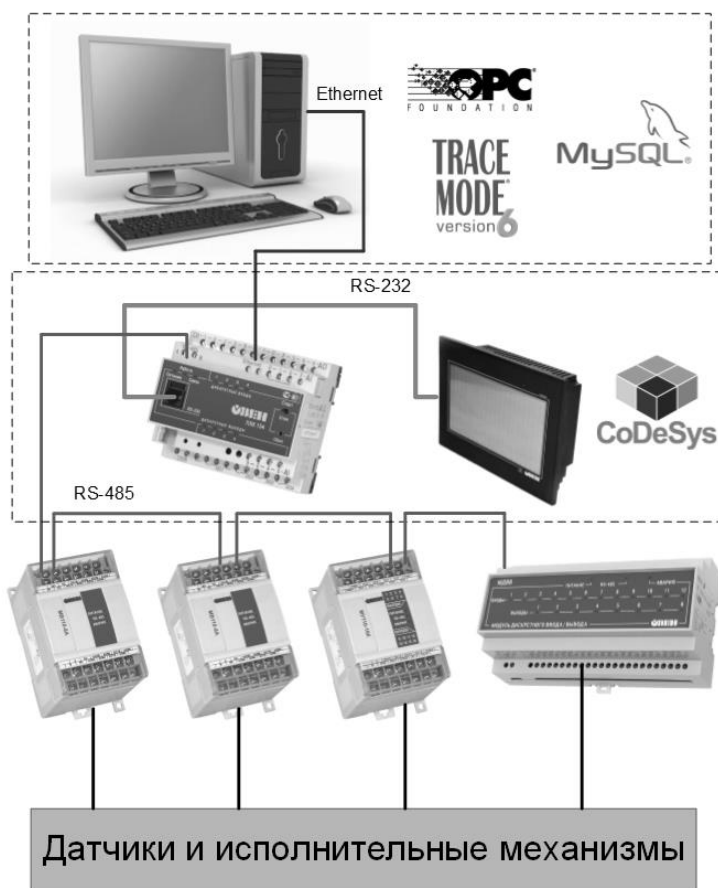
Для измерения температуры использовались термопары ПП, ХА и ХК. В качестве датчика массового расхода воздуха применялся пленочный анемометр 405/406 производства Siemens.

Исходя из перечня измерительных каналов и каналов управления, была разработана структурная схема системы автоматизации (см. рисунок).

Такое техническое решение, во-первых, позволило регулировать толщину слоя на транспортере шнеком.

Во-вторых, при помощи регулирования скорости вращения ленточного транспортера удалось добиться точного регулирования расхода топлива.

В-третьих, применение подобной системы с взвешиванием ленточного транспортера, которая достаточно часто применялась на ТЭС, работающих на твердом топливе, позволило измерять и регулировать расход топлива с точностью до 0,1 г. Система подачи топлива выполнена в герметичном корпусе в целях выравнивания давлений и предотвращения утечек транспортировочного воздуха.



Структурная схема
автоматизации газогенератора

Для упрощения конструкции пылепитатели были выполнены как отдельные системы с собственным микроконтроллером на базе платформы Arduino Mega. Такое решение позволило сократить объем информации, передаваемой по контроллеру от пылепитателя, при этом все управление электроприводами и опрос весов выполнялись Arduino Mega.

Данные от контроллера пылепитателя отправлялись по RS-232 в контроллер, который, получая их, при помощи библиотеки интерпретировал и отправлял в SCADA-систему с последующим логированием в СУБД.

Заключение

Разработанные технические решения по автоматизации газификатора позволили управлять технологическим процессом конверсии твердого топлива. Для повышения точности и качества процесса регулирования возможна установка газоанализатора на выходе установки.

Исследование выполнено в при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-31449 мол_а.

Список литературы

1. Гайнутдинов К. Подключение модулей ввода/вывода MBA8, MBY8, МДВВ к ПЛК по протоколу OVEN // Автоматизация и производство. 2008. № 2. С. 6–9.
2. Trace Mode. AdAstrA. SCADA система [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adastra.ru/products/dev/scada> (дата обращения: 30.09.2014).

УДК 621.65

Никитин А. Д., Стариков Е. В.
Уральский федеральный университет,
studentshurik@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С ЖИДКОПОРШНЕВЫМ ПУЗЫРЬКОВЫМ НАСОСОМ

Для работы жидкопоршневого пузырькового насоса в качестве циркуляционного насоса, применяемого в системе охлаждения, используется тепловая энергия охлаждаемой среды. Такая система охлаждения не зависит от внешних источников энергии, следовательно, она обладает высокой надежностью и способствует повышению энергоэффективности.

Система охлаждения представляет собой U-образный контур. К верхней части контура присоединен жидкопоршневой пузырьковый насос, состоящий из рабочего канала, тройника, впускного и выпускного обратных клапанов. Рабочий канал насоса состоит из испарителя, выполненного из материала с высокой теплопроводностью, и конденсатора, сделанного из материала с более низкой теплопроводностью. Испаритель насоса полностью погружен в охлаждаемую среду.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки для исследования системы охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом.

В качестве охлаждаемой и охлаждающей сред при испытаниях использовалась вода. Емкости для воды 6 и 7 покрывались тепловой изоляцией. В качестве рабочей жидкости в системе охлаждения использовался ацетон (температура кипения ацетона при атмосферном давлении составляет 56,1 °С [1]).

Испаритель насоса экспериментальной установки выполнен из медной трубки длиной 90 мм и внутренним диаметром 13 мм. Конденсатор насоса сделан из стеклянной трубки длиной 420 мм и внутренним диаметром 12 мм. Конденсатор охлаждался с помощью воздуха (за счет естественной конвекции). Разница между уровнями охлаждаемой и охлаждающей воды составляла 90 мм.

Принцип действия системы охлаждения следующий. При подводе теплоты от охлаждаемой среды к рабочей жидкости в испарителе насоса происходит образование крупного пузыря пара. При этом давление в рабочем канале насоса повышается, и часть жидкости, равная объему пузыря, выталкивается через выпускной обратный клапан 3 в компенсатор 4. Так как система охлаждения представляет собой U-образный контур, то уровень жидкости в компенсаторах 4 и 5 уравнивается под действием силы тяжести.

Поэтому часть жидкости, равная половине вытолкнутой порции, перетекает в компенсатор 5. При этом жидкость, нагретая в насосе, проходит через емкость с охлаждающей средой 7, где происходит теплообмен и снижение температуры рабочей жидкости.

Паровой пузырь, образовавшийся в испарителе насоса, вследствие разницы плотностей между жидкой и паровой фазами всплывает в конденсатор насоса, где происходит передача теплоты $q_{2н}$ через стенки стеклянной трубки окружающему воздуху, и пузырь начинает конденсироваться. При этом давление в рабочем канале насоса снижается, и через впускной обратный клапан 2 начинает всасываться рабочая жидкость с низкой температурой (после теплообмена с охлаждающей средой). При всасывании рабочей жидкости часть ее, равная половине всасываемой порции, проходит через емкость с охлаждающей средой 7 и охлаждается. В результате теплообмена с пузырем пара температура рабочей жидкости увеличивается.

Таким образом, в экспериментальной установке теплота конденсации парового пузыря, полученная от охлаждаемой среды, распределяется между рабочей жидкостью и окружающей средой (воздухом). Теплота, переданная рабочей жидкостью, вследствие циркуляции жидкости передается охлаждающей среде.

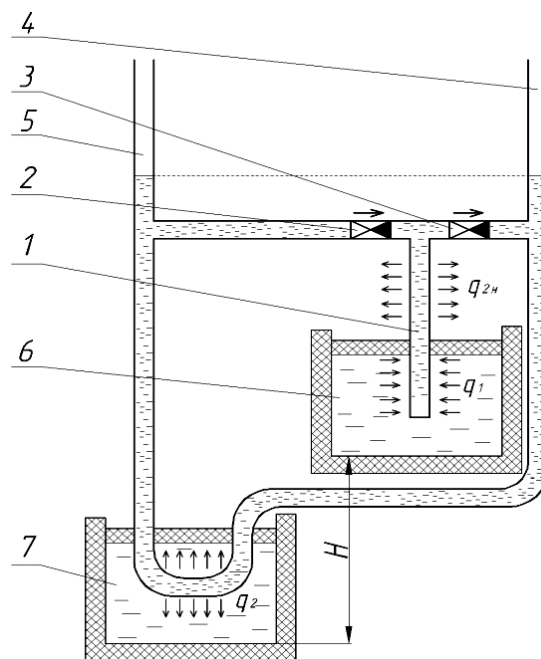


Рис. 1. Система охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом: H – разница высот между охлаждаемой и охлаждающей средами; 1 – рабочий канал насоса; 2 – впускной обратный клапан; 3 – выпускной обратный клапан; 4 и 5 – компенсаторы; 6 – емкость с охлаждаемой средой; 7 – емкость с охлаждающей средой

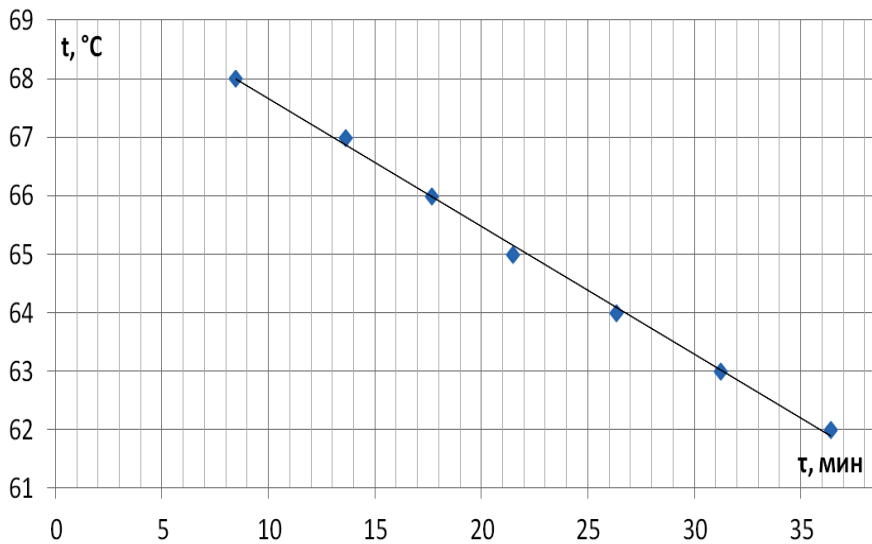


Рис. 2. Зависимость температуры охлаждаемой жидкости от времени

При испытаниях системы охлаждения охлаждаемая вода нагревалась до температуры, превышающей температуру кипения ацетона, и проводились измерения температуры охлаждаемой и охлаждающей воды и времени, за которое эти температуры изменялись. На рис. 2 представлена зависимость температуры охлаждаемой жидкости от времени.

Среднее время изменения температуры охлаждаемой воды на $\Delta t_{гор} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило $\tau_{ср} = 280\text{ с}$. Так как объем воды $V_{гор} = 2,74 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$, плотность воды $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$, теплоемкость воды $C_p = 4,19\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, то отводимая мощность составляет

$$Q_1 = \frac{\rho V_{гор} C_p \Delta t_{гор}}{\tau_{ср}} = \frac{1000 \cdot 2,74 \cdot 10^{-3} \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 1}{280} = 41\text{ Вт.} \quad (1)$$

За время измерений $\tau = 2200\text{ с}$ охлаждающая вода объемом $V_{хол} = 2,86\text{ л}$ нагрелась на $\Delta t_{хол} = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому мощность, подводимая к охлаждающей воде, составляет

$$Q_2 = \frac{\rho \cdot V_{хол} \cdot C_p \cdot \Delta t_{хол}}{\tau} = \frac{1000 \cdot 2,86 \cdot 10^{-3} \cdot 4,19 \cdot 10^3 \cdot 4}{2200} = 21,6\text{ Вт.} \quad (2)$$

Разница между Q_1 и Q_2 состоит из мощности, отводимой в конденсаторе насоса, и мощности, отводимой в результате потерь через тепловую изоляцию.

Поскольку площадь поперечного сечения испарителя $S_{исп} = 133\text{ мм}^2$, то удельная мощность теплопередачи системы составляет

$$q_2 = \frac{Q_2}{S_{исп}} = \frac{21,6}{133 \cdot 10^{-6}} = 0,162 \cdot 10^6\text{ Вт/м}^2. \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия системы охлаждения составляет

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{21,6}{41} = 52,7\text{ \%.} \quad (4)$$

Коэффициент полезного действия системы можно повысить, если охладить конденсатор насоса рабочей жидкостью и сделать тепловую изоляцию U-образного контура.

Таким образом собрана и исследована система охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом. Ее преимуществом является способность передавать теплоту с высокой эффективностью в направлении, противоположном силе тяжести. Системы теплопередачи на основе тепловых труб (в частности, термосифоны), являющиеся аналогами исследуемой системы, эффективно передают теплоту при благоприятном расположении в поле сил тяжести (вертикальное расположение, когда передача теплоты происходит снизу вверх). При горизонтальном расположении производительность термосифонов снижается в несколько раз, при неблагоприятном влиянии сил тяжести термосифоны не работают.

Необходимая глубина и расстояние передачи теплоты по горизонтали для системы охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом достигаются путем изменения конфигурации U-образного контура. Для уточнения максимальных расстояний теплопередачи требуются дополнительные исследования.

Кроме этого, система охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом является саморегулируемой (в диапазоне температур, при котором происходит снарядный режим кипения). Чем выше разность между температурой охлаждаемой среды и температурой рабочего тела в испарителе насоса, тем больше частота образования и размер пузырей пара, следовательно, выше расход перекачиваемой жидкости и отводимая мощность.

Список литературы

1. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. 2-е, доп. и пер. М. : Наука, 1972. С. 427.

УДК 621.65

Никитин А. Д., Стариков Е. В.
Уральский федеральный университет,
studentshurik@gmail.com

СХЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОПОРШНЕВОГО ПУЗЫРЬКОВОГО НАСОСА В ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Жидкопоршневой пузырьковый насос преобразует тепловую энергию в работу по перекачиванию жидкости. При парообразовании и последующей конденсации паровых снарядов в узком канале объем паровой фазы изменяется. Это изменение объема используется для перекачивания жидкости.

Жидкопоршневой пузырьковый насос может применяться в различных областях техники, в которых необходимо перекачивание жидкости и существует большое количество сбросной тепловой энергии. При использовании сбросной теплоты повышается энергоэффективность технологического процесса.

Возможно применение жидкопоршневого пузырькового насоса в качестве циркуляционного насоса в системах отопления небольших домов (коттеджей).

Движение теплоносителя в системе отопления возможно и за счет естественной конвекции. Однако при большой протяженности системы отопления или при наличии в доме двух и более этажей естественная конвекция не обеспечивает достаточной скорости циркуляции теплоносителя. Циркуляционный насос устанавливается для увеличения скорости движения теплоносителя в системе отопления и, следовательно, для более равномерного распределения температуры в доме.

При использовании в системе отопления пузырьковый насос имеет высокую эффективность. При работе насоса значительная часть подводимой мощности теряется, во-первых, на нагрев перекачиваемой воды, во-вторых, на нагрев окружающей среды через стенки трубки и напорной линии (потери из-за теплопроводности), в-третьих, на нагрев окружающей среды при конденсации пузыря. В системе отопления все перечисленные потери насоса являются «полезными» для отапливаемого помещения, потому что за счет них осуществляется либо нагрев воды в системе отопления, либо нагрев отапливаемого помещения в месте установки насоса (конденсатор насоса является для помещения радиатором отопления).

Возможно два варианта применения жидкопоршневого пузырькового насоса. Первый вариант – пузырьковый насос как отдельный элемент в системе отопления. Насос нужно располагать в системе отопления сразу за отопительным котлом (для увеличения температуры перекачиваемой воды и эффективности насоса). Данный вариант подходит для любой проектируемой или существующей системы отопления. Недостатком является необходимость в дополнительном источнике тепловой энергии для насоса.

Второй вариант использования жидкопоршневого пузырькового насоса в системе отопления – совмещение насоса с отопительным котлом или печью (рис. 1). При этом тепловая энергия, выделяющаяся в результате сжигания топлива (газа, торфа, дров), будет использоваться не только для нагрева теплоносителя в системе отопления, но и для обеспечения его циркуляции. Испаритель пузырькового насоса может располагаться в топке котла или в дымовой трубе (использование теплоты отходящих газов). Данный вариант требует внесения изменений в конструкцию котла или печи. Это возможно либо при изготовлении котлов (внедрение пузырькового насоса в котельное оборудование на заводе-изготовителе), либо при модернизации существующих печей. Актуальной может быть модернизация дровяных печей (размещение бака для нагрева воды и пузырькового насоса для ее перекачивания, создание таким образом отопительного контура с теплоносителем, циркулирующим без использования электроэнергии).

Другим направлением применения жидкопоршневого пузырькового насоса является использование в качестве циркуляционного насоса в системах

охлаждения. При этом источником теплоты для работы насоса будет охлаждаемая среда.

Несмотря на относительно низкую эффективность пузырькового насоса при перекачивании жидкости, при использовании насоса в системе охлаждения его эффективность как охлаждающего устройства будет высокой. Все потери насоса будут «полезными», потому что они отводятся от охлаждаемого элемента в окружающую среду.

Известно, что температура земли на глубине 2–4 метра значительно ниже температуры воздуха в летний период. В деревенских домах создаются ямы для хранения овощей, температура в летний период в ямах, по опыту авторов, не превышает 10 °С. Поэтому возможно создание системы для кондиционирования воздуха, которая будет отводить теплоту от воздуха в помещении и передавать ее земле на глубине нескольких метров.

На рис. 2 представлена схема системы для кондиционирования воздуха с жидкопоршневым пузырьковым насосом. Система представляет собой U-образный контур. К верхней части контура присоединен жидкопоршневой пузырьковый насос, состоящий из испарителя, конденсатора, впускного и выпускного обратных клапанов. Нижняя часть U-образного контура должна быть зарыта в землю на глубину 2–4 метра. Все элементы системы, находящиеся на воздухе (кроме испарителя), покрыты тепловой изоляцией. Контур заполнен теплоносителем, температура кипения которого ниже температуры воздуха в помещении (20–22 °С).

Система работает следующим образом. В испарителе насоса образуется крупный паровой пузырь. При этом порция теплоносителя, равная объему пузыря, выталкивается в компенсатор за выпускным клапаном. Под воздействием силы тяжести уровень теплоносителя в компенсаторах уравнивается. Часть тепло-

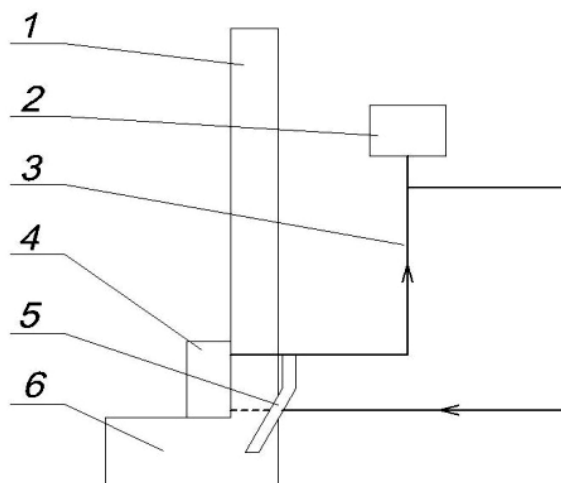


Рис. 1. Жидкопоршневой пузырьковый насос, совмещенный с печью: 1 – дымовая труба; 2 – расширительный бак; 3 – отопительный контур; 4 – бак для нагрева воды; 5 – пузырьковый насос; 6 – топка печи

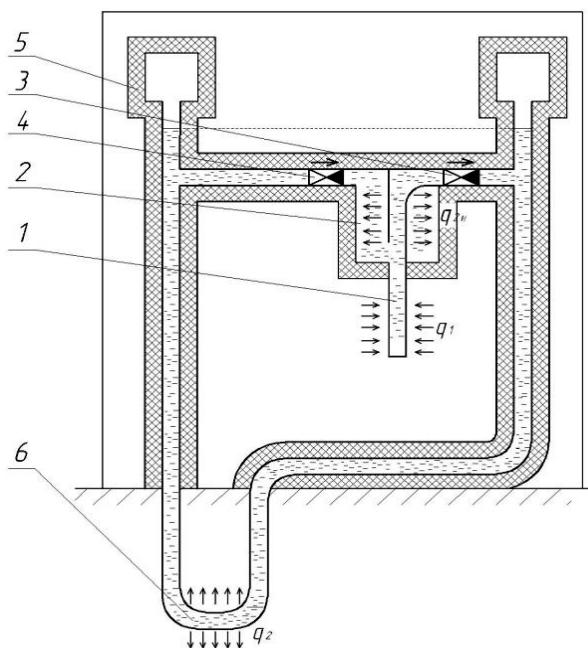


Рис. 2. Схема системы кондиционирования воздуха: 1 – испаритель насоса; 2 – конденсатор насоса; 3 – выпускной обратный клапан; 4 – впускной обратный клапан; 5 – компенсатор; 6 – теплообменник

носителя, равная половине вытолкнутой порции, проходит через теплообменник и отдает теплоту земле. Паровой пузырь всплывает в конденсатор и конденсируется, отдавая теплоту теплоносителю. При этом всасывается новая порция теплоносителя, уровень в компенсаторе перед впускным клапаном уменьшается, для уравнивания уровня часть нагретого теплоносителя (половина всосанной порции) проходит через теплообменник и отдает теплоту земле. Таким образом, теплота воздуха при конденсации пузыря передается теплоносителю, который циркулирует под действием жидкопоршневого пузырькового насоса и силы тяжести и передает теплоту земле на глубине в несколько метров.

При использовании жидкопоршневого пузырькового насоса в теплопередающих системах значительно повышается его эффективность. Применение жидкопоршневого пузырькового насоса позволяет создавать системы отопления и охлаждения, обладающие достаточной производительностью и не зависящие от электрической энергии. Такие системы имеют повышенную надежность и могут применяться в районах, где отсутствует централизованное электроснабжение. При использовании жидкопоршневым пузырьковым насосом теплоты охлаждаемой среды увеличивается эффективность использования энергии.

УДК 621.65

Никитин А. Д., Стариков Е. В.
Уральский федеральный университет,
studentshurik@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИДКОПОРШНЕВОГО ПУЗЫРЬКОВОГО НАСОСА

Жидкопоршневой пузырьковый насос – это устройство, использующее тепловую энергию для перекачивания жидкости. Поскольку в узких каналах паровые снаряды образуются со скоростью, значительно превышающей скорость всплытия снаряда [1], то при парообразовании и последующей конденсации паровых снарядов в узком канале объем паровой фазы изменяется. Это изменение объема используется для перекачивания жидкости.

Жидкопоршневой пузырьковый насос состоит из вертикально расположенного рабочего канала (трубки малого диаметра), нижний конец которого заглушен, а к верхнему концу присоединены с помощью тройника впускной и выпускной обратные клапаны. К нижней части канала – испарителю – подводится тепловая энергия, в верхней части канала – конденсаторе – тепловая энергия отводится.

В описанное выше устройство насоса вносились изменения и проводилось исследование производительности полученной конструкции. Целью исследований являлось выявление изменений, позволяющих увеличить расход перекачиваемой воды и высоту ее подъема.

Испытания конструкций насоса проходили в следующем порядке. Сначала выяснялась работоспособность конструкции: происходит или не происходит перекачивание. Затем исследовалась устойчивость работоспособности конструкции: возможно ли перекачивание в течение длительного времени. После этого измерялся расход перекачиваемой воды в зависимости от высоты ее подъема.

На рис. 1 показаны неэффективные конструкции насоса.

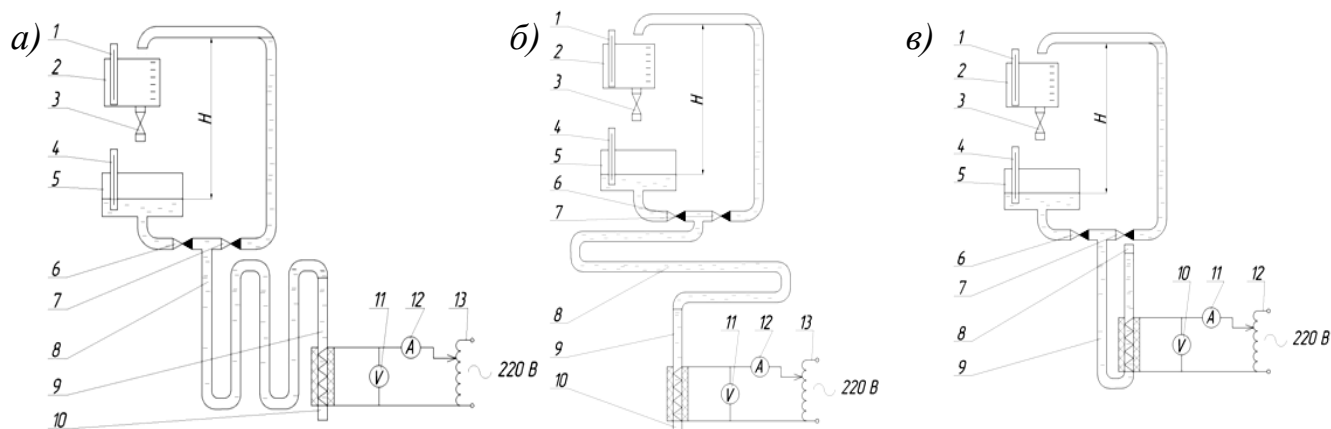


Рис. 1. Неэффективные изменения в конструкции насоса: использование вертикального (а) и горизонтального (б) змеевика, U-образной трубки (в)

Неэффективным изменением в конструкции насоса оказалось использование вертикального и горизонтального змеевиков (рис. 1 а, б). Предполагалось, что при использовании змеевика нагретая порция воды перемещается по нему и не выходит в напорную линию. Следовательно, значительно снижаются затраты подводимой теплоты на нагрев перекачиваемой воды и ее расход увеличивается. Испытания показали, что рабочий канал насоса 9 (рис. 1, а и 1, б) полностью «забивается» паром и не заполняется водой из емкости 5, насос не работает. Вероятной причиной этого является гидравлическое сопротивление змеевика.

Неэффективным изменением в конструкции также оказалось и использование U-образной трубки в качестве рабочего канала насоса (рис. 1, в). При подводе тепловой энергии заглушенное колено 8 U-образной трубки заполнялось паром и не участвовало в работе насоса, то есть фактически конструкция насоса не изменялась.

Эффективным изменением в конструкции насоса является использование устройства для управления его работой (рис. 2, а). Между испарителем и конденсатором насоса устанавливается кран, который периодически закрывается. При закрытом кране происходит перегрев пара в испарителе насоса, поэтому увеличивается совершаемая им работа, следовательно, возрастают расход и высота подъема воды. При открытии крана пар из испарителя смешивался с холодной водой в конденсаторе, в результате чего увеличивалась эффективность конденсации и рабочий канал насоса полностью заполнялся водой. При отсутствии крана в рабочем канале не происходило конденсации всей паровой фазы, полного заполнения канала водой не было (в канале циркулировали «холостые» пузыри, не совершавшие полезной работы).

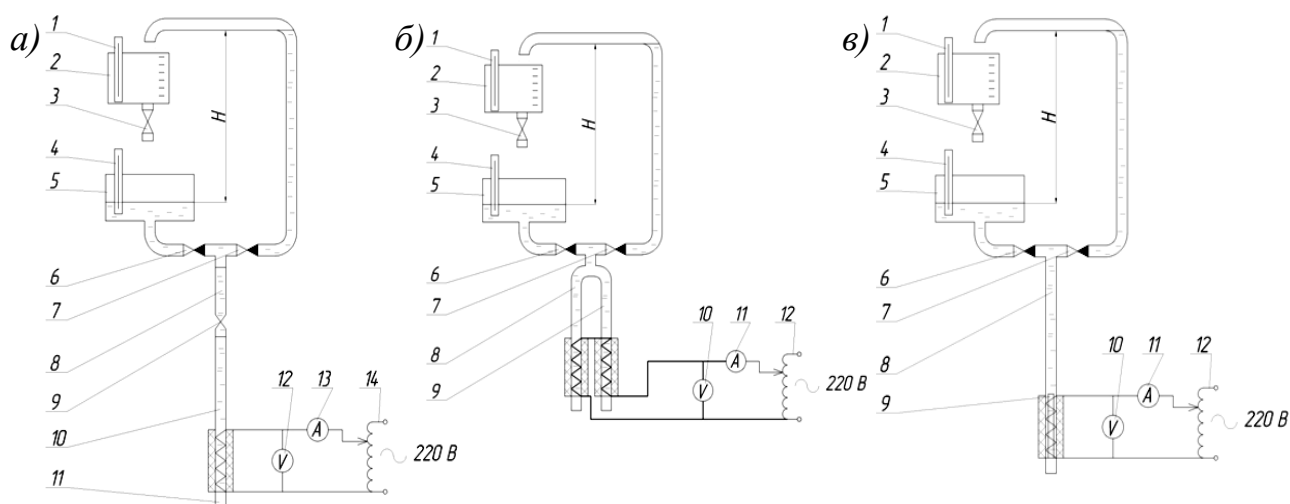


Рис. 2. Эффективные изменения в конструкции насоса: (а) устройство для управления работой насоса, (б) применение параллельных рабочих каналов, (в) использование узкого кольцевого канала

В ходе испытаний получена устойчивая работа «управляемого» насоса с рабочим каналом длиной 65 см на высоту 140 см. Подводимая мощность составила 300 Вт, средний расход – 13 л/ч. При работе насоса без управляющего устройства с каналом той же длины максимальная высота устойчивой работы составила 60 см, расход воды при той же подводимой мощности 300 Вт равнялся 4,4 л/ч. Таким образом, применение управляющего устройства (в данном случае крана) позволяет увеличить высоту подъема воды и расход в 2,5 раза. Возможно создание автоматической задвижки управления работой насоса.

Эффективным изменением в конструкции является применение параллельных рабочих каналов (трубок) для увеличения расхода перекачиваемой воды (рис. 2, б). Параметры и результаты испытаний трубок 8 и 9 (рис. 2, б) по отдельности и при параллельной работе представлены в таблице.

Параметры и результаты испытаний трубок 8 и 9

Параметр	Работа отдельной трубки		Параллельная работа
	Трубка 8	Трубка 9	
Длина трубки, см	65	90	-
Длина испарителя, см	30	15	-
Напор, см	50	50	50
Подводимая мощность, Вт	240	200	400
Средний расход, л/ч	4,75	5,55	7,35

Как видно из таблицы, при параллельной работе трубок расход увеличивается, однако он меньше суммы расходов, измеренных при работе трубок по отдельности. Отметим, что необходимо провести дополнительные исследования параллельной работы большого числа трубок (трех и более).

Эффективным изменением в конструкции является использование узкого кольцевого канала в испарителе насоса для подавления естественной конвекции

(рис. 2, в). При менее развитой естественной конвекции перегрев воды увеличится, следовательно, будут возникать более крупные пузыри пара, расход перекачиваемой воды увеличится. При испытаниях для создания кольцевого канала в трубке 8 (внутренним диаметром 12 мм) использовался стержень 9 (длиной 200 мм и диаметром 6 мм). На рис. 3 представлены полученные в результате испытаний зависимости расхода перекачиваемой воды от подводимой мощности при высоте подъема воды 55 см и длине трубки 65 см для установок с узким кольцевым каналом и цилиндрическим каналом.

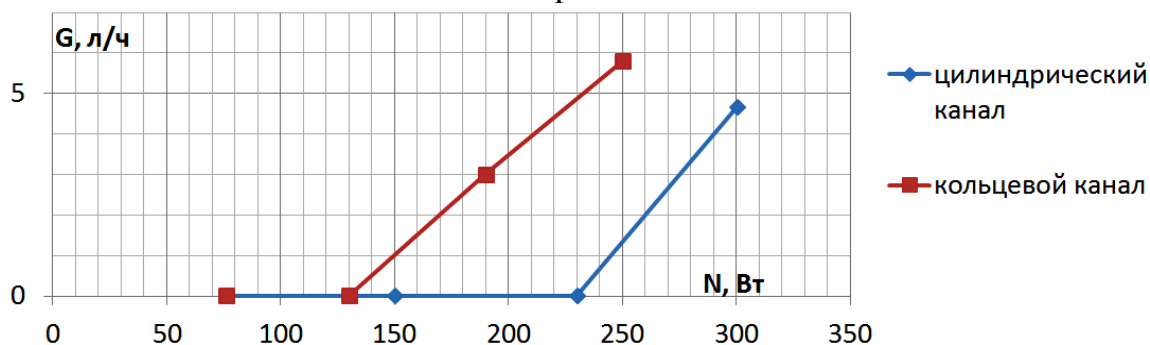


Рис. 3. Исследование эффективности использования штывря

Как видно из рис. 3, при использовании узкого кольцевого канала для подавления естественной конвекции перекачивание воды начинается при меньшей подводимой мощности, расход воды увеличивается.

Таким образом, в результате исследований выявлены изменения в конструкции жидкопоршневого пузырькового насоса, позволяющие увеличить его производительность.

Список литературы

1. Щеклеин С. Е., Костомаров В. М. О механизме образования парового снаряда в узком канале без принудительной циркуляции // Теплофизика высоких температур. 1982. № 6. Т. 20. С. 1203–1205.

УДК 621.311.26

Никитин А. Д., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
studentshurik@gmail.com

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ДИЗЕЛЬ-ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Значительную долю в стоимости фотоэлектрической станции (ФЭС) занимают аккумуляторные батареи (АКБ). Если использовать совместно с ФЭС дизельный генератор (ДГ) для покрытия нагрузки при недостаточной выработке энергии ФЭС, то необходимость в большом числе АКБ отпадает и стоимость электростанции снижается. В свою очередь, в расходах на ДГ значительную часть занимает стоимость топлива. ФЭС топлива не потребляет, и при достаточном приходе солнечной радиации вырабатываемая ФЭС электроэнергия бу-

дет дешевле, чем энергия, производимая ДГ. Таким образом, использование ФЭС совместно с ДГ позволяет создать гибридную электростанцию, стоимость производимой электроэнергии на которой будет ниже стоимости энергии, производимой только за счет энергии Солнца на ФЭС или только за счет сжигания топлива на ДГ. Кроме этого, использование АКБ для выравнивания графика потребляемой мощности позволит ДГ работать в стационарном режиме, в результате чего увеличатся эффективность и ресурс ДГ. Схема гибридной станции изображена на рис. 1.

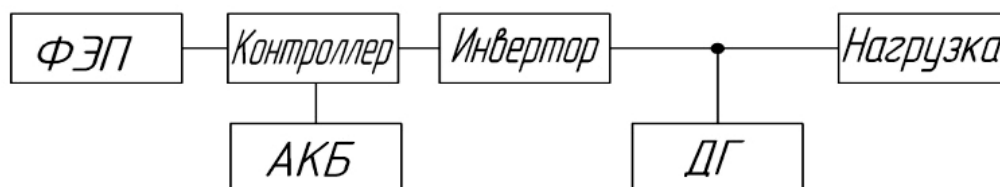


Рис. 1. Схема гибридной станции (ФЭС совместно с ДГ)

В качестве примера рассчитана гибридная станция для нагрузки, расположенная в Якутске и имеющая суточное потребление электроэнергии $W = 8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ и максимальную мощность $N = 1 \text{ кВт}$ (что соответствует квартире или небольшому дому). Широта г. Якутск $62^{\circ}02' \text{ с.ш.}$

При расчете гибридной станции прежде всего необходимо установить, целесообразно ли использовать ФЭС в данной местности. Для этого нужно провести расчет стоимости электроэнергии, производимой в течение каждого месяца работы ФЭС, в состав которой входит минимальное число АКБ, и расчет стоимости электроэнергии, вырабатываемой ДГ. Если стоимость электроэнергии, полученной на ФЭС, ниже стоимости электроэнергии от ДГ, то применение ФЭС целесообразно. В таком случае число фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и АКБ для гибридной станции определяется по варианту ФЭС для того месяца, в котором среднегодовая стоимость электроэнергии гибридной станции минимальна.

В составе ФЭС целесообразно иметь АКБ такой емкости, которая позволит сгладить неравномерность между суточным приходом солнечной радиации и потреблением электроэнергии. Для определения емкости АКБ необходимо сопоставить график нагрузки, для которой проектируется гибридная станция, и суточный график выработки электроэнергии ФЭС. На рис. 2 изображены типичный график нагрузки и типичные суточные графики прихода солнечной радиации в летний и зимний дни для широты г. Якутск. Все значения нормированы относительно графика нагрузки (то есть площадь под кривой всех графиков, которая равна суточному энергопотреблению, совпадает).

Энергия, которую необходимо запасти в АКБ, равняется разности между вырабатываемой и потребляемой энергией, на графике это – площадь между кривой выработки мощности ФЭС и кривой потребления мощности нагрузкой.

Отношение энергии, запасаемой в АКБ, к суммарному суточному потреблению энергии можно назвать коэффициентом неравномерности потребления энергии. Для графика, изображенного на рис. 2, коэффициент неравномерности

для летнего периода $k_{\text{неравн л}} = 0,3$; для зимнего периода $k_{\text{неравн з}} = 0,7$. Для весеннего и осеннего периодов можно принять среднее значение $k_{\text{неравн в}} = k_{\text{неравн ос}} = 0,5$.

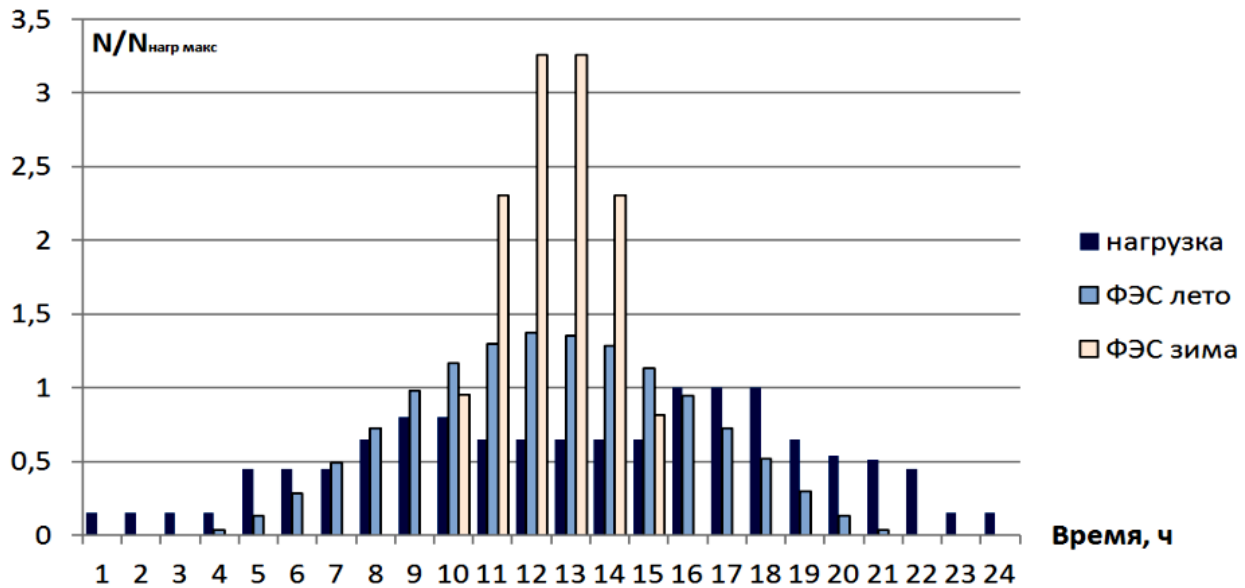


Рис. 2. Суточные графики потребления и выработки мощности

Таким образом, при заданном энергопотреблении нагрузки емкость АКБ вычисляется по формуле

$$C_{\text{акб}} = \frac{Wk_{\text{неравн}}}{\eta_{\text{инв}} k_{\text{разр}} U_{\text{акб}}}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{инв}}$ — коэффициент полезного действия (КПД) инвертора, $k_{\text{разр}}$ — степень разряда АКБ (принималась равной 50 %); $U_{\text{акб}}$ — напряжение АКБ.

Число АКБ вычисляется по формуле

$$n_{\text{акб}} = \frac{U_{\text{фэс}} C_{\text{акб}}}{C_{\text{ак}} U_{\text{акб}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{фэс}}$ — напряжение ФЭС; $C_{\text{ак}}$ — емкость одного аккумулятора.

Число ФЭП определяется следующим образом:

$$n_{\text{фэп}} = \frac{W}{J_i \eta_{\text{инв}} \eta_{\text{фэп}} S_{\text{фэп}} (1 - k_{\text{пот акб}} k_{\text{неравн}})}, \quad (3)$$

где J_i — среднесуточный приход солнечной радиации в i -й месяц; $\eta_{\text{фэп}}$ — КПД ФЭП; $S_{\text{фэп}}$ — площадь ФЭП; $k_{\text{пот акб}}$ — коэффициент, учитывающий потери в АКБ (принимался равным 10 %).

После расчета оборудования вариантов ФЭС для каждого месяца определяется стоимость электроэнергии, вырабатываемой каждым вариантом ФЭС. Стоимость складывается из издержек на амортизацию оборудования (в течение срока службы необходимо накопить средства на закупку нового оборудования) и издержек на ремонт ФЭС (принимались равными 10 % от издержек на амортизацию ФЭС). Для проектируемой ФЭС стоимость электроэнергии изменялась от 4,05 р./(кВт·ч) (вариант для июня) до 24,15 р./(кВт·ч) (вариант для декабря).

Затем рассчитывается стоимость электроэнергии, вырабатываемой ДГ. Она состоит из издержек на амортизацию, издержек на обслуживание и ремонт и затрат на дизельное топливо с учетом его доставки и хранения. В данном примере стоимость электроэнергии от ДГ составила 18,19 р./(кВт·ч).

Поскольку для проектируемой гибридной станции стоимость электроэнергии, вырабатываемой ФЭС, ниже стоимости электроэнергии, получаемой от ДГ, то использование ФЭС совместно с ДГ целесообразно.

Для определения оптимального числа ФЭП, АКБ и контроллеров необходимо рассчитать стоимость электроэнергии, производимой гибридной системой, для каждого варианта ФЭС.

Суточные затраты для гибридной станции складываются из суточных затрат ФЭС и суточных затрат ДГ. Затраты ФЭС для каждого варианта гибридной системы не зависят от выработки электроэнергии ФЭС и остаются постоянными в течение года. Затраты ДГ зависят от количества электроэнергии, произведенного ДГ для каждого варианта гибридной системы. ДГ вырабатывает электроэнергию только при недостаточной выработке ФЭС. При расчете количества электроэнергии, выработанной ДГ, сначала рассчитывается количество энергии, произведенное ФЭС, затем вычисляется разность между суточным потреблением электроэнергии и количеством, выработанным на ФЭС (если оно меньше суточного потребления). Затраты ДГ вычисляются как произведение количества выработанной энергии на ДГ на стоимость ее производства.

Стоимость производимой на гибридной станции электроэнергии рассчитывается с учетом дней без солнца. Для каждого месяца к сумме суточных затрат, рассчитанной по вышеописанной методике, прибавляются затраты на выработку электроэнергии ДГ в дни без солнца, рассчитанные как произведение суточного потребления электроэнергии на стоимость производства электроэнергии на ДГ и на число дней без солнца. Затем месячные затраты делятся на месячное количество произведенной электроэнергии и получается месячная стоимость электроэнергии для каждого варианта гибридной станции. По этим значениям вычисляется среднегодовая стоимость электроэнергии для каждого варианта.

В результате расчетов наименьшая среднегодовая стоимость электроэнергии для гибридной станции получилась при варианте ФЭС для сентября и составила 11,93 р./(кВт·ч) (в 1,5 раза меньше стоимости для ДГ). Капитальные вложения для гибридной станции составили 259 тыс. р. Срок окупаемости гибридной станции по отношению к ДГ составил 11 лет (при расчетах срок службы ДГ составил 13 лет). Выгода в данном случае составит 48 тыс. р, что соответствует 85 % капитальных вложений для ДГ или 18 % вложений для гибридной станции.

Таким образом, для г. Якутск использование ФЭС совместно с ДГ является выгодным. Поэтому целесообразна модернизация дизельных электростанций путем параллельного подключения к ним ФЭС оптимальной мощности.

ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

При производстве торфяного топлива в условиях использования природных источников энергоресурсов (солнечная энергия) возникает проблема оптимальной организации производств эффективного использования естественного тепла.

Добыча торфа по своей сути является технологическим процессом по обезвоживанию (сушке) торфяного сырья, приемом концентрирования действующего вещества в единице объема или массы. Технологии добычи (сушки) торфа могут быть различными, но конечной целью любой технологии является получение воздушно-сухого торфа, который может эффективно использоваться для различных целей.

Преобладающее распространение получил способ производства фрезерного торфа с использованием поверхностно-послойной системы разработки торфяных месторождений, который подразумевает под собой разработку месторождения тонкими слоями с поверхности за короткие циклы. Продукция, получаемая при данном способе, – фрезерный торф кондиционной влажности, готовый к использованию.

В настоящее время технология добычи торфа послойным фрезерным способом испытывает существенные трудности из-за низкого качества продукции, высокого уровня пожароопасности, природоохранных и экономических рисков, из-за ненадежности поставок потребителю.

Во-первых, эта технология требует огромных площадей для добычи, последующей сушки и складирования торфа. Во-вторых, требуются значительные затраты как материальные, так временные, на предварительное проведение операций по подготовке болот, включая в том числе осушение открытой сетью и дренажем, сводку древесной растительности, удаление пней и выравнивание поверхности. В-третьих, требуется большой парк узкоспециализированной техники для добычи торфа и ремонтно-подготовительных работ.

Данный способ сильнее всего зависит от метеоусловий, что отражается в его сезонности (при благоприятных условиях, с мая по август – 3 месяца), так и в зависимости качества получаемого торфа от количества осадков, выпадающих в течение сезона.

Одним из неблагоприятных факторов при торфодобыче являются пожары. Наиболее распространенными причинами торфяных пожаров являются: самовозгорание фрезерного торфа в штабелях – 47 %, искры, возникающие при работе технологического оборудования и тракторов, – 25 %, неосторожное обращение с огнем и пр. – 28 %.

В настоящее время в УрФУ для оценки эффективности производства энергоемкой продукции введен полный (сквозной) энергоэкологический анализ (СЭЭА), который обеспечивает управление энергосбережением и снижением вредных выбросов в окружающую среду при реконструировании и создании новых энерготехнологических процессов.

Представляет научный и практический интерес использования методологии и методики СЭЭА для оценки эффективности энерготехнологических процессов добычи торфяного топлива.

Комплексный анализ энергозатрат на всех стадиях производства учитывает особенности технологии, сокращение выбросов вредных веществ, утилизацию отходов, производство побочной и вторичной продукции, энергетические и материальные затраты на предыдущих стадиях производства, сведенных для сравнения к единому универсальному показателю в единицах условного топлива. Для этого сквозные энергетические затраты, учитывающие все материальные и энергетические потоки производства и раскрывающие структуру потребления энергии и материалов с выявлением лимитирующих звеньев по величине максимального энергопотребления (ТТЧ), рассчитываются в виде технологических топливных чисел, а энергозатраты, связанные с погашением стоимости экологического ущерба от вредных выбросов на единицу выпускаемой продукции, рассчитываются с помощью технологических экологических чисел (ТЭЧ). Для удобства расчетов за стоимость топлива принята цена природного газа, т. е. использован «газовый» эквивалент. Данный подход к анализу экологической обстановки можно использовать и при добыче фрезерного торфа.

Далее представим анализ энергоресурсов, используемых при добыче торфа:

- 1) энергия технологических машин;
- 2) естественная природная энергия, используемая при осушении залежи с естественной влажности до эксплуатационной;
- 3) естественная природная энергия на испарение (сушку).

Энергетические затраты цикла добычи фрезерного торфа, рассчитанные в форме технологических топливных чисел, составляют для фрезерования 0,39 кг у.т./т, ворошения 0,15 кг у.т./т, валкования 0,15 кг у.т./т, уборки 0,53 кг у.т./т, штабелирования 0,15 кг у.т./т. Суммарный показатель ТТЧ для всего цикла добычи составляет 1,37 кг у.т./т, или 0,957 кг дизельного топлива на одну тонну добытого фрезерного торфа.

Для производства фрезерного торфа необходимо подготовить верхние слои торфяного месторождения к эксплуатации: создать ровную и плотную поверхность, свободную от древесной и кустарниковой растительности, а также от кочек, пней и слоя слаборазложившегося торфа-очеса, непригодного для использования его на топливо. Последовательность этих работ и их объем в значительной степени зависят от характера поверхности и принятого комплекса механизмов по подготовке поверхности.

Под технологической схемой подготовки понимается совокупность технологических операций, выполняемых последовательно в соответствии с тех-

ническими требованиями с целью создать нормальные условия работы оборудования по добыче торфа. Основные технологические схемы подготовки торфяных месторождений к эксплуатации, применяемые в торфяной промышленности, зависят от категории обводненности месторождений.

Первая технологическая схема подготовки торфяного месторождения первой категории обводненности включает следующие операции: осушение месторождения, сведение древесной растительности, разбор навалов древесины, погрузку и вывозку древесины за пределы полей на склад, сбор и сжигание сучьев, подрезку высоких пней. Вторая технологическая схема подготовки торфяного месторождения первой категории обводненности включает следующие операции: осушение месторождения, сведение древесной растительности, погрузку и вывозку древесины за пределы полей на склад, разделку древесины на складе, переработку низкосортной древесины в технологическую щепу, подрезку высоких пней.

Третья технологическая схема подготовки торфяного месторождения второй категории обводненности включает одну основную операцию – осушение.

Четвертая технологическая схема подготовки торфяного месторождения первой категории обводненности включает следующие операции: сведение древесной растительности, погрузку и вывозку древесины из пакетов за пределы полей на склад, сбор сучьев на складе и низкосортной древесины, подрезку высоких пней.

Кроме того, все технологические схемы включают профилирование и планировку поверхности карт, фрезерование залежи на полосах вдоль картовых каналов и ручные доделки.

По рассмотренным технологическим схемам подготовки могут подготавливаться поля для производства торфяной продукции фрезерным способом – топливного торфа, торфа для сельского хозяйства, сырья для производства брикетов и полубрикетов искусственного обезвоживания и пр.

УДК 621.335

Патрашкин Е. А., Климов Е. И.
Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ),
eapat@mail.ru, eklimov80@gmail.com

ПРОБЛЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ СОЗДАНИИ ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации № 1р от 8 января 2009 года «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии (на период до 2020 года)» выработка

электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) к 2020 г. должна составить 4,5 % от общей генерации электроэнергии Российской Федерации [1]. На наш взгляд, основным направлением достижения поставленной цели является развитие ветроэнергетики. На сегодняшний день установленная мощность ветроэнергетических станций в России составляет 16,8 МВт [2]. Экономические и климатические особенности Российской Федерации осложняют применение ветроэнергетических установок (ВЭУ) в промышленных масштабах. Непостоянство выработки энергии и невозможность регулирования выдаваемой мощности создают барьеры для подключения ветроэнергетических станций (ВЭС) к единой энергетической сети (ЕЭС). К тому же оптимальные зоны установки ВЭУ расположены, как правило, на значительном удалении от единой энергосистемы, что создает еще один барьер – крупные капиталовложения в развитие сети. Таким образом, на данный момент наиболее перспективным путем развития ветроэнергетики в нашей стране являются локальные энергосистемы.

Локальные энергосистемы – изолированные системы с генерирующими установками, расположенными в непосредственной близости от потребителя. Развитие малой распределенной энергетики (МРЭ) – одно из приоритетных направлений энергетической стратегии России на период до 2030 года [3].

Использование энергии ветра для генерации электрической энергии посредством ВЭУ связано с рядом сложностей. Скорость ветра (v) является непостоянной величиной и в большинстве случаев носит случайный характер вследствие изменения погодных условий на территории расположения ВЭУ. Данный факт приводит к значительным изменениям скорости вращения ветроколеса ВЭУ (ω), в результате чего варьируется выходное напряжение на валу генератора (U_{Γ}), что приводит к непостоянству его характеристик по амплитуде, частоте и фазе. В дальнейшем нужно будет ориентироваться на применение ВЭУ с вертикальной осью вращения, которые менее зависимы от направления ветра [4]. Сброс или отключение нагрузки также являются дестабилизирующими факторами, которые приводят к изменению характеристик генерируемой энергии. Простейшая ВЭУ содержит выпрямитель, который преобразует переменное напряжение U_{Γ} в постоянное ($U_{\text{в}}$), а также инвертор, который преобразует $U_{\text{в}}$ в переменное напряжение промышленной частоты, заданной амплитуды и фазы. Однако возможности инвертора по поддержанию заданных параметров выходного напряжения установки ограничены, а при отсутствии ветра у изолированного от ЕЭС потребителя возникает риск остаться без электроэнергии. В целях уменьшения вероятности возникновения подобной ситуации в составе ВЭУ должно быть предусмотрено устройство аккумулирования энергии. На рис. 1 представлена простейшая модель генерации электрической энергии при помощи ВЭУ, в которой К – ветроколесо ВЭУ; Г – генератор электрической энергии; В – выпрямитель; И – инвертор; Н – нагрузка.



Рис. 1. Схема генерации электрической энергии при помощи ВЭУ

Как правило, график выработки электроэнергии ВЭУ не совпадает с графиком нагрузки потребителя энергии (возможное расхождение показано на рис. 2). Таким образом, периодически возникают возможности для создания запаса энергии, которые в дальнейшем можно использовать при появлении дефицита энергии.

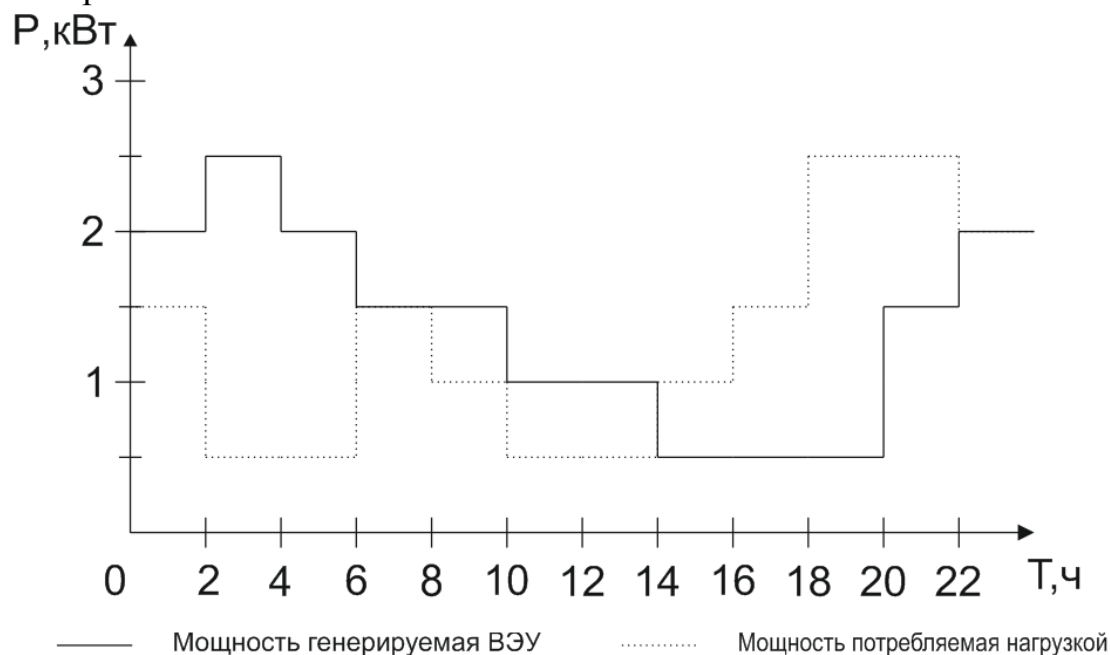


Рис. 2. Графики суточных зависимостей мощности, генерируемой ВЭУ и потребляемой нагрузкой

В составе ветроэнергетической установки малой мощности используют аккумуляторные батареи (АКБ). При этом принципиальная схема принимает следующий вид (рис. 3). АКБ устанавливают на постоянное напряжение между выпрямителем и инвертором. Во время избытка генерируемой мощности батарея заряжается, а во время дефицита – отдает накопленную энергию инвертору.

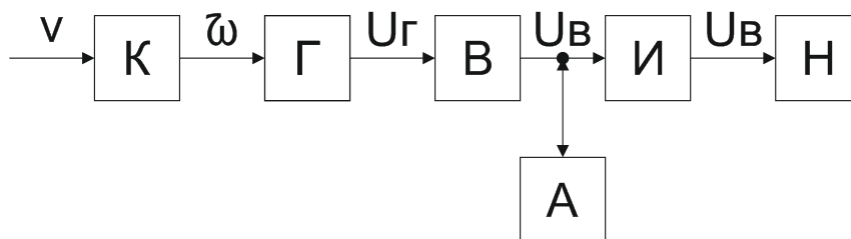


Рис. 3. Схема генерации электрической энергии при помощи ВЭУ с применением АКБ

Однако у такой схемы (рис. 3) есть ряд недостатков, один из них – ограниченная емкость батарей. При достаточно длительном отсутствии генерируемой мощности (плохие метеоусловия, выход из строя части генерирующего оборудования и др.) запасенная энергия расходуется потребителем. Для обеспечения энергоснабжения потребителя в локальных энергосистемах на базах

ВЭУ целесообразно устанавливать дополнительные источники энергии, например, солнечные панели или дизель-генераторы. Это позволит уменьшить зависимость потребителя от одного вида источников энергии и, следовательно, повысить надежность энергоснабжения.

Другим недостатком являются характеристики АКБ, устанавливаемых на ветроэнергетических установках малой мощности. Для исправной работы батарей необходимо соблюдать цикл заряда-разряда, что крайне сложно в условиях переменных метеоусловий и нагрузки.

Также одной из сложностей при эксплуатации ВЭУ является необходимость затормаживания ротора ветроколеса при скоростях ветра, превышающих нормативные.

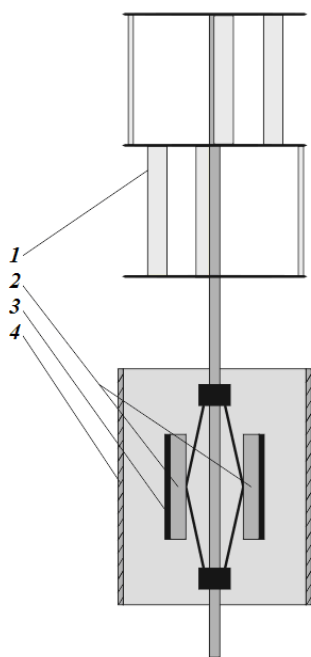


Рис. 4. Эскиз ВЭУ с механическим накопителем энергии

Справиться с данными проблемами можно при помощи использования механического накопителя энергии с переменным моментом инерции, эскиз такой установки представлен на рис. 4. При увеличении скорости вращения ветроколеса 1, грузы 2 под действием центробежной силы увеличивают радиус вращения, чем меняют момент инерции маховика, что приводит к накоплению энергии, и сохранению постоянной скорости вращения ротора генератора. Установка рассчитывается таким образом, что при выходе скорости ветра за предельные параметры, с которыми допускается эксплуатация, тормозные колодки 3, закрепленные на грузах 2, начинают торможение о специальный корпус маховика 4.

В заключение сделаем основные выводы: проблемы генерации электрической энергии при помощи ВЭУ связаны с непостоянством скорости ветрового потока, поэтому появляется необходимость совмещать различные типы источников генерации энергии, а также создавать системы аккумулирования энергии, способные длительное время сохранять большой запас энергии. В качестве такой системы может выступать механический накопитель энергии с переменным моментом инерции. Дальнейшие исследования и ОКР будут направлены на расчет и моделирование установки, предложенной в статье.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. от 8.01.2009 г № 1 р: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146921/ (дата обращения: 26.10.2014).
2. Есть ли будущее у ветроэнергетики России? [Электронный ресурс]. // Новости энергетики. URL: <http://novostienergetiki.ru/est-li-budushhee-u-vetroenergetiki-v-rossii/> (дата обращения: 09.10.2014).

3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/> (дата обращения: 09.10.2014).
4. Соломин Е. В. Сравнительные характеристики вертикально-осевых ветроэнергетических установок // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 1. С. 48–53.

УДК 621.039

Русских И. М., Лукьяненко В. Ю., Михайлова А. Ф., Ташлыков О. Л.
Уральский федеральный университет,
vera-lukyanenko@mail.ru

ПОТЕНЦИАЛ ОПТИМИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В СНИЖЕНИИ ЗАТРАТ НА ПЕРЕРАБОТКУ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Для успешного функционирования атомной энергетики, способной к долговременному и широкомасштабному развитию, необходимо завершить рассмотрение и решение ряда важных проблем. В первую очередь это касается реализации и увязки в единый комплекс АЭС и ядерного топливного цикла (ЯТЦ), включающий баланс урана и плутония при минимизации радиоактивных отходов (РАО). При этом наиболее сложной и срочной задачей является захоронение РАО, образованных от реализации оборонных ядерных технологий.

Страна несет большие затраты по поддержанию приемлемого уровня безопасности существующих хранилищ РАО [1].

К жидким радиоактивным отходам (ЖРО), образующимся при эксплуатации и снятии с эксплуатации энергоблоков АЭС, относятся:

- растворы от дезактивации и отмывки оборудования и помещений;
- воды от опорожнения реакторных систем;
- воды санпропускников, саншлюзов, спецпрачечных;
- пульпы перлита, ионообменных смол, шламы;
- кубовые остатки, конденсат с установок упаривания ЖРО.

На территории Российской Федерации накоплено около 600 млн т ЖРО общей активностью около $(3,6 \times 10^{19})$ Бк.

Главным требованием экологической безопасности при переработке ЖРО является уменьшение вероятности попадания долгоживущих радионуклидов в окружающую среду, что можно обеспечить, перерабатывая (отверждая) жидкие радиоактивные отходы в твердые радиоактивные отходы (ТРО). При этом следует учитывать, что стоимость долговременного хранения единицы объема ТРО многократно больше стоимости переработки единицы объема ЖРО.

До недавнего времени системы переработки радиоактивных сред на АЭС России отвечали проектным решениям, разработанным в 50–60 годы прошлого века. Однако отечественный и зарубежный опыт обусловил пересмотр и ужесточение требований по безопасному обращению с РАО. Основной целью та-

кого подхода является повышение безопасности краткосрочного и длительного хранения РАО.

Начиная с конца 70-х годов, в связи с возросшими требованиями по безопасности, в экономике обращения с отходами низкого и среднего уровня активности произошли существенные изменения – цены на услуги по переработке РАО растут почти экспоненциально [2].

В условиях рыночной экономики рост затрат на переработку и хранение требует минимизации РАО на стадиях их образования и кондиционирования. Но поскольку затраты на обращение с РАО при использовании современных технологий постоянно возрастают, простое совершенствование существующих методов не дает нужного эффекта. Необходим переход на качественно новый уровень обращения с радиоактивными отходами.

Для определения мощности дозы γ -излучения от различных источников образцами защитного материала использовался программный код MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code), реализующий метод Монте-Карло расчета переноса совокупности нейтронов, фотонов, электронов с непрерывной энергией в обобщенной геометрии и с зависимостью от времени [3].

Метод Монте-Карло применяется для моделирования различных процессов, носящих статистический характер (например, взаимодействие нейтронов, фотонов в среде). Метод крайне полезен при решении сложных задач, которые невозможно смоделировать программой, основанной на детерминистском методе. Для каждой частицы моделируются случайные события. Совокупность отдельных событий, носящих статистический характер, составляет полную картину происходящего процесса. По распределению вероятностей отдельных событий можно судить о процессе в целом. В задачах переноса частиц приемы Монте-Карло наиболее близки к реальности.

Расчеты выполнены для 13 вариантов: толщина стенок 5, 10, 20 и 30 мм (для активности 40 Ки) мм, активность цезия-137 10, 20, 30, 40 Ки. Время расчета одного варианта задачи со статистической ошибкой от 8 до 4 % составляет 8,5 часов.

Описание расчетной модели. Расчетная модель выполнена в виде куба из бетона марки М200 со стороной 1500 мм. Внутри куба, по центру, расположен пенал в виде цилиндра из нержавеющей стали наружным диаметром R и высотой H . В пенале размещен источник, также имеющий вид цилиндра диаметром r и высотой h . Источник представляет собой объем V , заполненный воздухом, в котором равномерно распределен цезий-137. Удельная активность цезия-137 составляет 1 Ки/л (рис. 1).

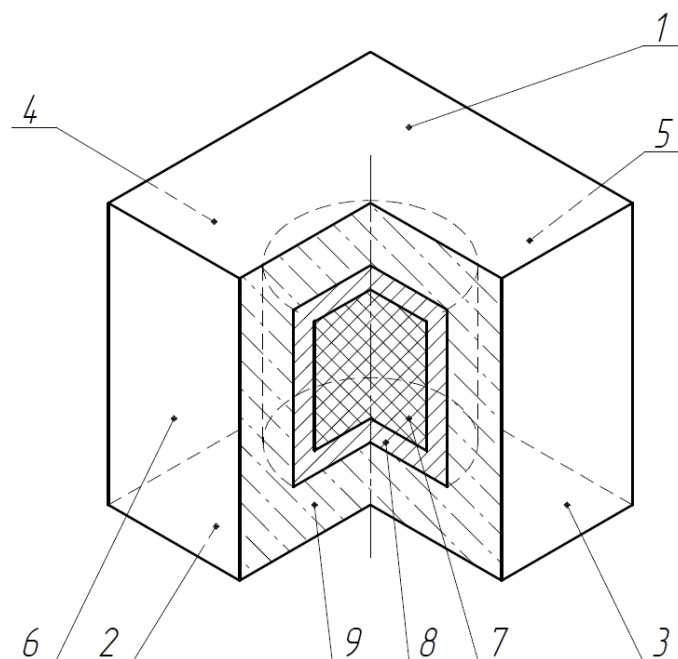


Рис. 1. Схема расчетной модели:

1–2 – горизонтальные грани куба, верхняя и нижняя соответственно;
 3–6 – боковые грани куба; 7 – источник излучения цезий-137;
 8 – стальной пенал; 9 – бетонный куб со стороной 1500 мм

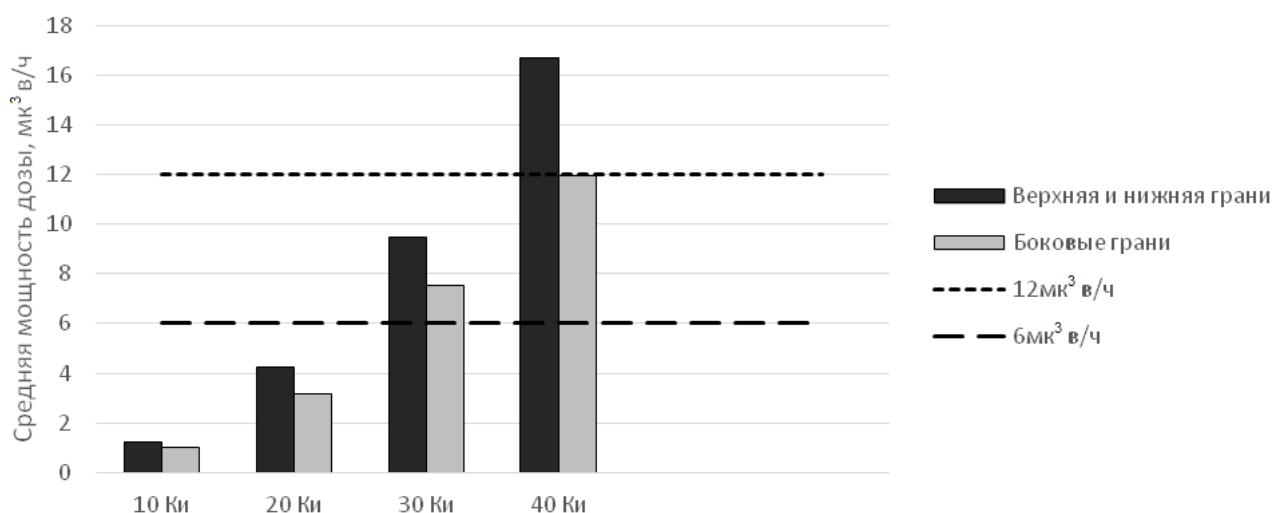


Рис. 2. Средние значения мощности дозы гамма-излучения для горизонтальных (верхняя и нижняя) и вертикальных (боковых) граней бетонного брикета с расположенным в центре стальным пеналом и источником излучения цезий-137

Решение данной задачи приведенным методом позволяет оценить величину мощности дозы на гранях бетонного брикета для разных активностей источника при разных толщинах стального пенала. Полученные результаты с учетом погрешностей пригодны для использования их в практических расчетах при проектировании контейнеров для хранения РАО. При этом затраты на выбор оптимальной компоновки контейнеров невелики.

Список литературы

1. Проблемы обращения с радиоактивными отходами в России. Заключение ОФТПЭ РАН и Научного совета по атомной энергетике ОФТПЭ РАН по результатам совместной Научной сессии ОФТПЭ РАН // бюллетень по атомной энергии. 21 июня 2002 г.
2. Обращение с РАО на российских АЭС: проблемы и пути решения // Безопасность окружающей среды. 2009. № 1. С.94-98.
3. Briesmeister Ed. A General Monte Carlo N – Particle Transport code // Los Alamos National Laboratory report. LA-12625-M. Version 4B. 1997.

УДК 662.767.2

Рявкин А. Д., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
ryvkinart@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА АЭРОБНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

На сегодняшний день остро стоит вопрос о переработке отходов сельскохозяйственной деятельности, например:

- животноводческой деятельности;
- деревообрабатывающего производства;
- птицефабрик;
- растениеводства;
- пищевые.

Одним из способов переработки отходов является применение ферментеров анаэробного брожения с образованием метана, однако этот способ имеет ряд недостатков в условиях низкотемпературного климата нашего региона, а именно – большие энергозатраты на подогрев ферментируемого субстрата. Учитывая вышесказанное, имеет смысл рассмотреть альтернативные варианты переработки отходов.

Одним из самых перспективных вариантов переработки отходов является аэробная твердофазная ферментация. Аэробная ферментация широко применяется при очистке жидких канализационных стоков. В отличие от биогазовых установок, ферментеры на аэробной ферментации не требуют подогрева, более того, в процессе аэробной биodeградации происходит естественный самопроизвольный нагрев субстрата как результат жизнедеятельности аэробных бактерий, что может являться источником электрической энергии, которую преобразует в установке ORC (Organic Rankine Cycle). Основные преимущества аэробных реакторов перед анаэробными – это меньшая стоимость продуктов ферментации, более простая конструкция, самопроизвольный нагрев.

Аэробная твердофазная ферментация возможна при обязательном условии – присутствии в ферментируемой смеси компонентов, относящихся к отходам сельскохозяйственного производства и обладающих изначальной биологической активностью (навоз, помет). Биологическая активность этих компонен-

тов обеспечивается наличием в их составе различных групп микроорганизмов: использующих органические и минеральные формы азота, целлюлозоразлагающих, способных мобилизовать органические фосфаты, микроскопических грибов, актиномицетов и др. Второй важнейший компонент исходных смесей – углеродсодержащие составляющие, в частности, предлагаемый в качестве сырьевого ресурса торф, способный обеспечить развитие микроорганизмов необходимой энергией и имеющийся во многих регионах РФ. Кислород необходим для дыхания и метаболизма аэробных микроорганизмов, а также для окисления молекул органических веществ.

Для большинства систем твердофазной ферментации характерен нагрев до 40–60 °С уже на вторые сутки процесса.

Теплоэнергетический баланс для процесса аэробной твердофазной ферментации можно представить в виде уравнения:

$$M \cdot C \cdot \frac{dT}{dt} = \frac{dBVS}{dt} \cdot H_1 - UA(T - T_{\text{окр}}) \left(\frac{dH_2O}{dt} \right) L,$$

где M – масса влажного образца в ферментере $M = \text{miner} + \text{BVS} + \text{H}_2\text{O}$; Miner – масса минеральной, не подверженной деструкции, части вещества; BVS – масса органической фракции; H_2O – масса воды. C – удельная теплоемкость смеси, равная

$$C = (C_{\text{miner}} \cdot \text{miner} + \text{BVS} \cdot C_{\text{BVS}} + C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{H}_2\text{O}) / M,$$

T и $T_{\text{окр}}$ – температура смеси и окружающей среды; t – время от начала процесса; H_1 – количество теплоты, выделяемой при деструкции 1 кг BVS ; L_E – скрытая теплота парообразования; U – коэффициент теплопередачи через нижнюю, верхнюю и боковые стенки ферментера; A – суммарная площадь поверхности ферментера.

Рациональным решением будет использовать это тепло, преобразуя его в электрическую энергию, посредством ORC [1, 2].

ORC-турбина (рисунок) работает по следующему циклу:

1) рабочее тело в ресивере находится в жидком состоянии при температуре и давлении конденсации. Насос перекачивает рабочее тело в испаритель, повышая давление;

2) рабочее тело проходит через экономайзер, подогреваясь теплом пара из электросилового модуля;

3) рабочее тело попадает в испаритель, в котором происходит переход в паровую фазу за счет передачи тепла от внешнего источника, в качестве которого используется ферментер;

4) рабочее тело в виде пара попадает в турбину в электросиловом модуле, на которой давление пара снижается до давления конденсации, приводя в движение ротор с электрогенератором;

5) выполнив работу в электросиловом модуле, рабочее тело все еще содержит большое количество тепла, часть которого передается жидкой фазе в экономайзере для повышения эффективности работы системы в целом;

б) рабочее тело в парообразном состоянии попадает в охладитель, в котором конденсируется в жидкость, после чего стекает в ресивер для повторного использования в цикле.

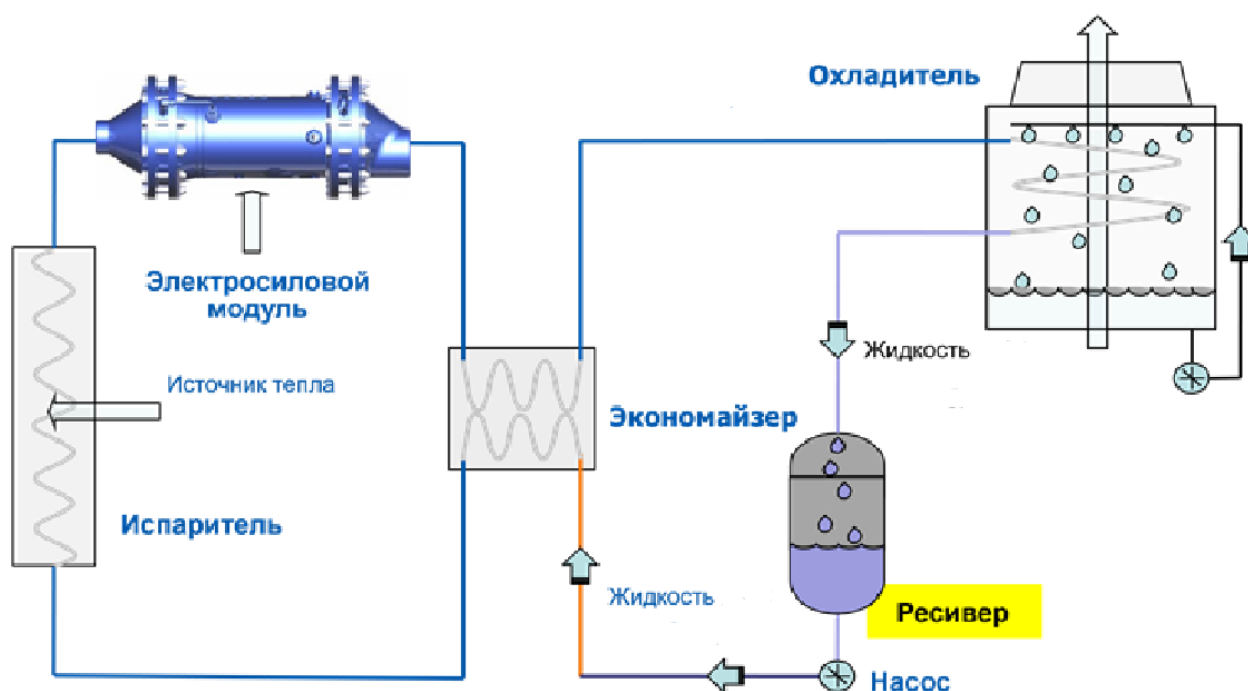


Схема работы ORC-турбины [3]

Список литературы

1. Рабинович Р. М. Совершенствование аэробной твердофазной ферментации органического сырья путем оптимизации технологических параметров производственного процесса: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Всероссийский НИИ сельскохозяйственного использования мелиорированных земель. Тверь, 2006. 151 с.
2. Рабинович Г. Ю., Ковалев Н. Г., Сульман Э. М. Биоконверсия органического сырья в удобрения и кормовые добавки (микробиологические аспекты). Тверь : ТГТУ, 1999. 168 с.
3. ORC-турбины [Электронный ресурс]. // БПЦ Инжиниринг. URL: <http://www.bpcenergy.ru/equipment/orc-turbiny/> (дата обращения: 18.10.2014).

УДК 620.98

Соломин Е. В., Сироткин Е. А., Мешин А. А.
Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)
ea.sirotkin@gmail.com

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ЗАГОРОДНОГО ЖИЛЬЯ

За последние годы отмечается увеличение интереса владельцев загородной недвижимости к малой локальной ветроэнергетике [1]. Наибольшим спросом среди загородного жилья стали пользоваться дома, соответствующие критериям экологичности и энергоэффективности. Как правило, такими считаются

деревянные дома, выполненные по финским энергосберегающим технологиям домостроения [2].

Подавляющее большинство тех, кто строит дома за городом, являются сторонниками комфортного образа жизни, поэтому немаловажным фактором при покупке жилья будет наличие инженерных коммуникаций и возможности обустройства дома техническими, осветительными и бытовыми приборами. Однако в то же время покупатели стремятся выбрать максимально тихое и экологичное место для своего будущего участка, находящееся вдали от заводов и крупных автомобильных магистралей. В большинстве случаев такой вариант размещения дома невозможен по причине отсутствия подведенных к дому линий электропередач (ЛЭП), необходимых для обеспечения объекта электроэнергией. В случае, если покупатель решится провести ЛЭП к своему будущему дому, то стоимость 1 км линии составит около 1,4–4,8 млн р. (в зависимости от используемых материалов) [3].

Теперь рассмотрим ситуацию с пригородными поселками и поселками городского типа, дома в которых изначально подключены к общей электросети. Например, в Челябинской области тарифы на электроэнергию в пригородных и сельских районах выше, чем в городской черте (г. Челябинск). В Челябинске усредненная цена за 1 кВт·ч составляет 2 р., в то время как в поселках за пределами города цена на электроэнергию приближается к 3 р./(кВт·ч) [4]. Существует и такая практика, когда администрации либо арендодатели элитных загородных поселков или дачных клубов устанавливают для жителей цену на электроэнергию, достигающую 6 р./(кВт·ч). К примеру, в загородном клубе «Золотой пляж» на озере Тургояк владельцы домов платят 5,91 р./(кВт·ч).

Учитывая все вышеперечисленные негативные стороны электрификации загородного жилья, справедливо обратить внимание на альтернативные источники энергии. Самыми удобными и наиболее приспособляемыми (для Челябинской области) могли бы стать ветроэнергетические установки (ВЭУ) и фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) либо их комбинация – гибридные ветросолнечные установки.

Остановимся на ВЭУ и определим минимальную мощность установки для современного загородного дома. Занесем в табл. 1 с соответствующими допущениями мгновенную мощность для каждого электроприбора в конкретное время суток, а в табл. 2 впишем суммарное суточное энергопотребление.

Таблица 1

Мгновенно потребляемая мощность электроприборов, Вт

Электроприбор	Мощность прибора	Мгновенная потребляемая мощность P_i , Вт			
		утро	день	вечер	ночь
Телевизор	300	300	0	300	0
Видеомагнитофон	120	0	0	120	0
Компьютер	400	0	0	400	0
DVD-плеер	120	0	0	120	0

Окончание табл. 1

Электроприбор	Мощность прибора	Мгновенная потребляемая мощность P_i , Вт			
		утро	день	вечер	ночь
Аудиоплеер	100	100	0	100	0
Посудомоечная машина	1500	0	0	1500	0
Стиральная машина	500	0	0	500	0
Электроплита	1500	1500	0	1500	0
Микроволновая печь	1500	1500	0	0	0
Пылесос	1300	0	0	1300	0
Факс-аппарат	100	100	0	0	100
Лампы накаливания	1000	1000	1000	1000	1000
Люстра	400	400	0	400	0
Синтезатор	100	0	0	100	0
Электрочайник	2000	2000	0	2000	0
Утюг	1800	0	0	1800	0
Кофеварка	300	300	0	300	0
Миксер	200	0	0	200	0
Тостер	300	300	0	0	0
Фен	200	0	0	200	0
Телефонный аппарат	20	20	20	20	20
Сигнализация	20	0	20	0	0
Другие приборы	1000	1000	1000	1000	1000
Система обогрева	300	300	300	300	300
Итого в пике	15080	8820	2340	13160	2420

Таблица 2

Суточное энергопотребление

Электроприбор	Мощность прибора P_i , Вт	Время потребления t_i , час				Суточное энергопотребление $E_{\text{сут}}$, Вт·ч
		утро 2 часа	день 10 часов	вечер 4 вечер	ночь 8 часов	
Телевизор	300	0,5	0	2	0	750
Видеомагнитофон	120	0	0	2	0	240
Компьютер	400	0	0	1	0	400
DVDплеер	120	0	0	1	0	120
Аудиоплеер	100	1	0	1	0	200
Посудомоечная машина	1500	0	0	0,5	0	750
Стиральная машина	500	0	0	1	0	500
Электроплита	1500	0,3	0	0,5	0	1200
Микроволновая печь	1500	0,2	0	0	0	300
Пылесос	1300	0	0	1	0	1300
Факс-аппарат	100	0,1	0	0	0,1	20
Лампы накаливания	1000	1	0,5	3	1	5500

Электроприбор	Мощность прибора P_i , Вт	Время потребления t_i , час				Суточное энергопотребление $E_{\text{сут}}$, Вт·ч
		утро 2 часа	день 10 часов	вечер 4 вечер	ночь 8 часов	
Люстра	400	0,3	0	2	0	920
Синтезатор	100	0	0	1	0	100
Электрочайник	2000	0,1	0	0,2	0	600
Утюг	1800	0	0	0,5	0	900
Кофеварка	300	0,1	0	0,1	0	60
Миксер	200	0	0	0,1	0	20
Тостер	300	0,2	0	0	0	60
Фен	200	0	0	0,1	0	20
Телефонный аппарат	20	6	6	6	6	480
Сигнализация	20	0	6	0	0	120
Другие приборы	1000	0,5	0,5	0,5	0,5	2000
Система обогрева	300	2	2	2	2	2400
Итого	15080	12,3	15	25,5	9,6	18960

Теперь, зная суточное максимально возможное энергопотребление, необходимо выяснить среднюю скорость ветра в регионе, в котором будет расположен дом. Для этого необходимо воспользоваться данными метеорологических служб, нужно иметь в виду, что данные метеостанций являются усредненными. В связи с этим в дополнение к метеорологическим данным можно руководствоваться привязкой к местному ландшафту (аэродинамические коридоры лесных массивов и горных цепей, поймы рек, продувные урбанизированные районы), соответствующим изменением климата в регионе (изменение направления и силы ветра, колебания температуры) и т. д. На территории Челябинской области среднегодовая скорость ветра $v_{\text{ср}} = 5$ м/с [5].

Существуют открытые каталоги с указанием выходных параметров ВЭУ при заданных мощностных и климатических условиях. Исходя из нашего условия ($E_{\text{сут}} = 18960$ Вт·ч и $v_{\text{ср}} = 5$ м/с) в качестве автономного источника энергоснабжения дома можно выбрать горизонтально-осевую ВЭУ номинальной мощностью 3 кВт в количестве 2 штук, имея в виду, что в континентальном климате лучше выбрать малые ветроустановки в связи с более продуктивной работой на слабых ветрах. Стоимость такой ВЭУ может колебаться в пределах от 330 до 400 тыс. р. (с учетом стоимости аккумуляторных батарей, инвертора, коммутационной аппаратуры и пр.) [6].

Список литературы

1. Соломин Е. В., Сироткин Е. А. Состояние малой ветроэнергетики в мире // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 05 (145). С. 26–31.
2. Шестаков А. Результаты опроса участников рынка загородной недвижимости. [Электронный ресурс]. Российская Газета. URL: <http://www.rg.ru/2014/06/24/reg-pfo/dom.html>. (дата обращения: 12.11.2014).
3. Укрупненные показатели стоимости сооружения (реконструкции) подстанций 35-150 кВ и линий электропередачи 0,4; 6-10; 35-150 кВ. С. Пб. : МРСК Северо-Запада, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.old.novgorodenergo.ru/files/1102>. (дата обращения: 12.11.2014).

4. Постановление Государственного комитета «Единый тарифный орган Челябинской области». [Электронный ресурс]. от 19 декабря 2013 года № 58/7. URL: http://www.esbt74.ru/files/tarif/2014/post_eto_55_2.pdf. (дата обращения: 12.11.2014).
5. Гидроэнергетические, ветроэнергетические, гелиоэнергетические ресурсы : атлас энергетических ресурсов СССР. Т. 1. Ч. 3, М. ; Л. : ОНТИ, 1935 . 128 с.
6. Кирпичникова И. М., Соломин Е. В. Ветроэлектростанции : учеб. пособие к практическим занятиям. Челябинск : ЮУрГУ, 2012. 85 с.

УДК 620.93

Стяжкин В. С., Шмакова Л. А., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет,
sh.l.a.1995@mail.ru

МГД-ГЕНЕРАТОРЫ: НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Идея использования жидкого проводника была выдвинута Майклом Фарадеем в 1832 г. Однако его попытка экспериментально подтвердить эту идею в 1832 г. окончилась неудачей. В 1851 г. английскому ученому Волластону удалось измерить ЭДС, индуцированную приливными волнами в Ла-Манше, что на практике подтвердило предположение Фарадея. Однако отсутствие необходимых знаний по электрофизическим свойствам жидкостей и газов долго тормозило использование описанных эффектов на практике.

В дальнейшем исследования проводились по двум основным направлениям: использования эффекта индуцирования ЭДС для измерения скорости движущейся электропроводной среды и генерирования электрической энергии.

Первые патенты на генерирование электричества МГД-генератором были получены еще в 1907–1910 гг., однако описанные в них конструкции на практике были нереализуемы, так как не существовало материалов, способных работать в газовой среде при температурах 2500–3000 °С.

Только благодаря созданию новой науки – магнитной гидродинамики – стало возможным создание МГД-генераторов, а также развитию физики плазмы и исследованиям в области физики высоких температур, и созданию к этому времени жаропрочных материалов.

В первом МГД-генераторе, построенном в США в 1959 г., источником плазмы с температурой 3000 К служил плазмотрон, работавший на аргоне с присадкой щелочного металла для повышения степени ионизации газа. Мощность генератора составляла 11,5 кВт. В 1960 г. в США был построен лабораторный МГД-генератор на продуктах сгорания с присадкой щелочного металла. К середине 60-х годов мощность МГД-генераторов на продуктах сгорания удалось довести до 32 МВт.

В СССР усилия были направлены главным образом на создание комплексных энергетических установок с МГД-генераторами. В 1962–1965 гг. были проведены теоретические и экспериментальные исследования, которые позволили в 1965 г. привести в действие комплексную модельную энергетическую

установку «У-02», включавшую в себя основные элементы ТЭС с МДГ-генераторами и работавшую на природном топливе. На «У-02» были получены экспериментальные данные, которые сильно расширили представление о возможностях практического использования МГД-установок.

В 1971 г. была запущена опытно-промышленная энергетическая установка «У-25», имеющая расчетную мощность 20–25 МВт. Она работала на продуктах сгорания природного газа с добавкой K_2CO_3 в качестве ионизирующей присадки. В России промышленный МГД-генератор строился в Новомичуринске Рязанской области, где рядом с Рязанской ГРЭС была специально построена МГДЭС. Однако генератор так и не был запущен в эксплуатацию. С начала 1990 г. работы были полностью свернуты, а МГД-электростанция, без МГД-генератора, работающая как обычная тепловая электростанция, после нескольких преобразований в конце концов была присоединена к Рязанской ГРЭС.

МГД-генераторы делятся на три основных типа:

- 1) МГД-установки открытого цикла;
- 2) МГД-установки закрытого цикла;
- 3) импульсные МГД-установки.

Главными препятствиями в развитии МГД с открытым циклом являлись сложности с настройками МГД, влияющими на эффективность и надежность генератора, также были проблемы с камерой сгорания и с созданием сверхпроводящей магнитной системы МГДГ с индукцией 4,5–6 Тл. Газ и уголь использовались для нагрева инертного газа в регенеративных теплообменниках.

Реализация МГДГ с замкнутым циклом также не обошлась без трудностей: герметичностью замкнутого контура установки с минимальным содержанием примесей и предотвращением загрязнения рабочего тела в регенеративных теплообменниках. Тело планировалось получать из газоохлаждаемого ядерного реактора, но спустя время источником энергии стало органическое топливо.

Импульсные МГД-генераторы используют самовозбуждающиеся магнитные системы с индукцией 3–3,5 Т и неохлаждаемые МГД-каналы. Топливом для этих установок служит порох с высокой энтальпией. В результате исследований ученые пришли к выводу, что характеристики действующих импульсных МГД установок можно увеличить в 3–4 раза (см. таблицу).

В последнее время большое внимание специалистов привлекают космические приложения магнитоплазменной аэродинамики и МГД-взаимодействия при высокоскоростном полете летательного агрегата. Эксперименты проводятся на крупных газодинамических стендах различных организаций.

Поисковые работы ведутся в области автономных энергоустановок с МГДГ и ядерным реактором. В рамках программы NERVA был разработан проект бортового источника питания космических летательных аппаратов на основе дискового МГДГ диаметром 2,5 м, работающего в замкнутом цикле и газоохлаждаемого ядерным реактором. Мощность МГДГ 70 МВт, расход рабочего тела 5,5 кг/с, магнитная индукция 4 Тл, коэффициент преобразования энтальпии 35 % [1].

Рабочие параметры МГД-генераторов

Параметр	Импульсный МГД-генератор			
	«Памир-1»	«Прикаспий» («Памир-2»)	«Прогноз-1» («Урал»)	«Хибины»
Мощность в согласованной нагрузке, МВт	16	16	30	40
Напряжение, В	1350	800	600	2000
Ток в нагрузке, кА	≤1	≤7	≤2,2	≤20
Длительность импульса, с	2,7	2,7–8	3,8	3,7–9
Расход продуктов сгорания, кг/с	25–30	50	70–100	140
Масса МГД-генератора, т	15	25	20	40

Для ядерного реактора типа PEWEE-1 тепловой мощностью 514 МВт выполнена рядом ученых проектная разработка электроэнергетической установки МГДГ, обеспечивающая удельную мощность 2000 МВт/м³ при длительности рабочего периода 64 мин., коэффициент преобразования энтальпии до 50 %. Рабочим телом является водород с цезиевой присадкой при неравновесной ионизации.

Другие аналогичные проекты и проработки космических ядерных автономных энергетических установок (мощностью до 1000 МВт) по большей части базируются на компактных дисковых МГДГ, работающих по замкнутому циклу на неравновесной плазме [1].

Практическая реализация подобных систем в значительной степени определяется созданием надежных ядерных реакторов для космических летательных аппаратов.

Список литературы

1. Non-Equilibrium MHD Disk Generator Using Cesium-Seeded Hydrogen / W. D. Jackson // XI Intern. Conf. on MHD Electric Power Generation. Beijing. 1992. V. 4. P. 1320–1323.

УДК 621.039

Терентьев М. С., Ташлыков О. Л.
Уральский федеральный университет,
maxterentyev@mail.ru

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ТОРИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

В мире в силу исторических причин доминирует уран-плутониевый ядерный топливный цикл (ЯТЦ), когда в ядерном топливе, облучаемом нейтронами в реакторе, происходит накопление плутония, который может быть выделен и использован. Использование обогащенного урана и наработка плутония при широкомасштабном развитии ядерной энергетики связаны с нарастанием

угрозы неконтролируемого распространения ядерных материалов. В отработавшем уран-плутониевом топливе происходит накопление высокофонового плутония ($^{239,240,241,242}\text{Pu}$), нептуния (^{237}Np), трансплутониевых элементов ($^{241,247}\text{Am}$, $^{242,244}\text{Cm}$), изотопов урана ($^{232,234,236}\text{U}$) и других долгоживущих продуктов деления – ^{99}Tc , ^{129}I , ^{79}Se , ^{137}Pd , ^{135}Cs периоды полураспада которых составляют от нескольких десятков до сотен тысяч лет (например, для ^{99}Tc – $2,12 \cdot 10^5$) [1].

Альтернативой уран-плутониевому ЯТЦ является ториевый топливный цикл.

Из-за распространенности тория, его инертной химической природы, хорошей теплопроводности и выгодных нейтронно-физических характеристик практически все реакторы в то или иное время изучались с точки зрения применения ториевого топлива. Для оценки перспективности перехода с уран-плутониевого на ториевый ЯТЦ необходимо сравнить затраты на отдельных этапах обоих типов.

Общий объем известных и оцененных ресурсов тория по цене извлечения 80 долл/кг или ниже составляет 4,4 млн т, а урана – 2,6 млн т [2–3]. На основании проведенного анализа многочисленных источников обобщены значения стоимости фабрикации и переработки различных ЯТЦ в легководных, тяжеловодных и быстрых реакторах (рис. 1, 2).

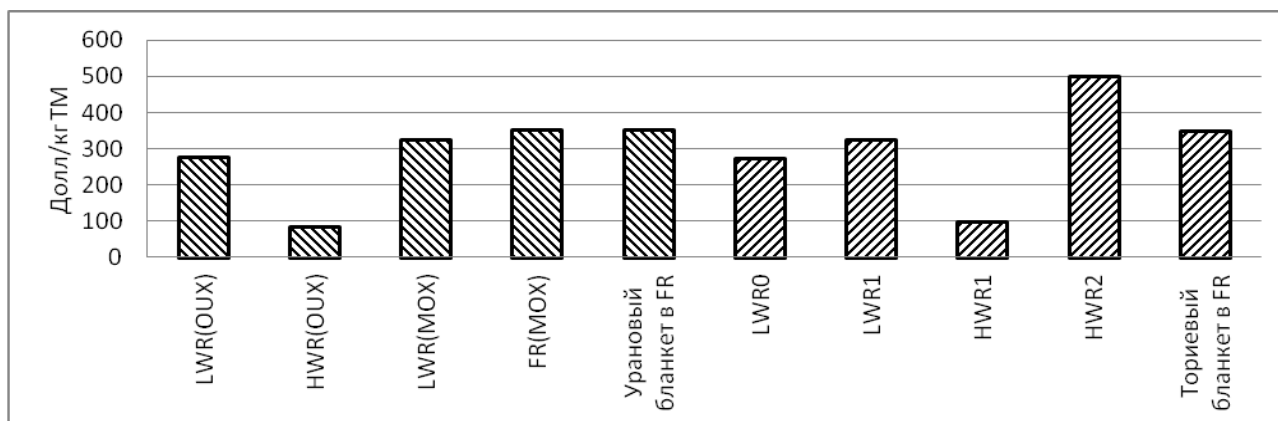


Рис. 1. Стоимость фабрикации топлива:

LWR – легководный реактор: HWR – тяжеловодный реактор: FR – быстрый реактор: LWR0 – легководный реактор на урановом оксидном и ториевом топливе: LWR1 – легководный реактор на ториево-плутониевом топливе; HWR1 – тяжеловодный реактор на ториево-плутониевом топливе; HWR2 – тяжеловодный реактор на тории, восстановленном уране-233 и плутонии

Несмотря на то что расходы на фабрикацию ториевого топлива не ниже, чем в урановом топливном цикле, а затраты на переработку значительно выше, ториевый цикл имеет более благоприятные экономические характеристики по ряду причин:

– для загрузки в реактор пригоден природный торий, который, в отличие от урана, не нужно обогащать, проводя сложную и дорогостоящую операцию разделения изотопов;

– высокая глубина выгорания тория ставит его в выгодное положение перед ураном, стержни которого нужно извлекать из реактора после того, как в них использовано менее 10 % содержавшегося «топлива», торий же можно использовать полностью;

– оксид тория является более тугоплавким и устойчивым веществом, чем оксид урана, что открывает возможность для создания высокотемпературных реакторов на тории с рабочей температурой 700–800 °С. КПД такого реактора может достигать 50–55 %, что почти вдвое выше, чем у традиционных урановых [4].

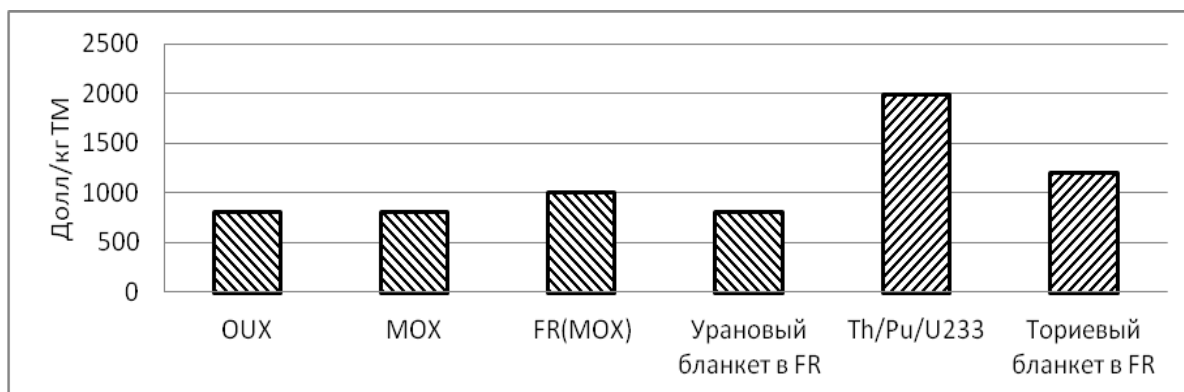


Рис. 2. Стоимость переработки топлива

Существуют и новые типы реакторов для ториевого ЯТЦ. Одну из перспективных технологий предложил нобелевский лауреат Карло Руббиа. По его проекту в реакторе предлагается использовать ториевое ядерное топливо, а в качестве «запала» применять ускоритель протонов. В 2010 г. норвежская компания Aker Solutions приобрела патент у К. Руббиа и приступила к проектированию реактора ADTR (субкритический реактор с ускорительной системой). Мощность установки оценивается в 600 МВт, ее стоимость, по предварительным данным, может превысить 3 млрд долл. с учетом предварительных исследовательских работ [4].

Реактор ADTR гораздо безопаснее традиционного, так как отключается остановкой протонного пучка. Экономика ADTR перспективна из-за компактности первичных систем, которые работают при низком давлении с большими тепловыми запасами, и достаточно высокой температурой охлаждающей жидкости, что позволяет использовать энергетические циклы высокой эффективности. Основным преимуществом реакторов такого типа является способность сжигать долгоживущие актиниды (уран, плутоний, америций, кюрий и т. д.), т. е. не только производить дешевую электроэнергию, но и упрощать и удешевлять утилизацию ядерных отходов.

Другой перспективной установкой является реактор типа LFTR (Liquid Fluoride Thorium Reactor). В нем предлагается отойти от применения твердых топливных элементов и использовать в качестве теплоносителя расплавы солей-фторидов, в которых хорошо растворяются оксиды тория и урана. К экономическим преимуществам использования жидкофторидного ториевого реактора относят низкое давление в системе, исключающее аварии, связанные с разры-

вом корпуса и расплавлением активной зоны, что позволяет значительно снизить капитальные издержки на материалы и сократить сроки строительства. Небольшая активная зона ведет к общему снижению капитальных затрат и создает возможность строить реакторы любого размера и мощности. Уменьшение требований к безопасности и высокий уровень автоматизации могут снизить требования к численности персонала. Таким образом, текущие операционные издержки для гигаваттной станции могут снизиться с 50 до 5 млн долл. в год [2].

Реализация уран-ториевого топливного цикла позволяет полностью избавиться от недостатков уран-плутониевого топливного цикла и достигнуть таких технических показателей ЯТЦ, которые ограничены только физической природой деления ядер. Технологии, необходимые для реализации ториевого топливного цикла, инновационны, не развиты и в настоящее время энергетические компании не интересуют, поскольку связаны со значительными финансовыми инвестициями и рисками без внятных выгод. Только Индия и Китай намерены проводить исследования в этой области. Тем не менее в долгосрочной перспективе использование тория представляется весьма многообещающим.

Список литературы

1. Муратов О. Э., Тихонов М. Н. Альтернативный ЯТЦ: необходимость и актуальность [Электронный ресурс]. URL: <http://www.proatom.ru/> (дата обращения: 20.11.2014).
2. Некоторые вопросы экономических перспектив ториевой ядерной энергетики. [Электронный ресурс]: доклад объединения Bellona URL: <http://www.bellona.ru> (дата обращения: 20.11.2014).
3. Thorium Report Committee. Thorium as an energy source – Opportunities for Norway // Published by the Thorium Report Committee. 2008, february.
4. Тарнавский В. Ториевый шанс [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ukrrudprom.ua/> (дата обращения: 20.11.2014).

УДК 620.97

Терентьева Т. В., Климова В. А.
Уральский федеральный университет,
v.a.klimova@urfu.ru

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ДОЖДЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Дождь – относительно низкопотенциальный ресурс. Однако у дождя как источника возобновляемой энергии есть ряд преимуществ. Прежде всего, это доступность для климатических районов с низкой солнечной радиацией в течение полугодового цикла. Установка, использующая энергию дождя, была бы актуальна в сезоны дождей в странах с муссонным климатом. Для этих районов интересно совмещение солнечной панели и дождевой, использующих в разные времена года разные источники энергии. Среди положительных черт также

можно указать, что дождь является экологически чистым и безопасным ресурсом.

Проведем оценку энергетического потенциала дождя. Для этого вычислим примерную мощность, получаемую от одной капли и от потока на один квадратный метр.

Радиусы капель бывают 0,25–3,5 мм. В зависимости от размера капли скорость перед падением различна: для мелких капель 2–6,6 м/с, для крупных капель – 30 м/с. Интенсивность дождевого потока также может варьироваться в пределах 0,25–100 мм/ч [1].

Энергия одной капли, Дж:

$$E_{\text{кап}} = \frac{\rho_{\text{в}} \frac{4\pi}{3} r_{\text{кап}}^3 v^2}{2}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, 1000 кг/м³; $r_{\text{кап}}$ – радиус капли дождя, м; v – скорость капель перед падением, м/с.

Мощность дождя на 1 м², Вт:

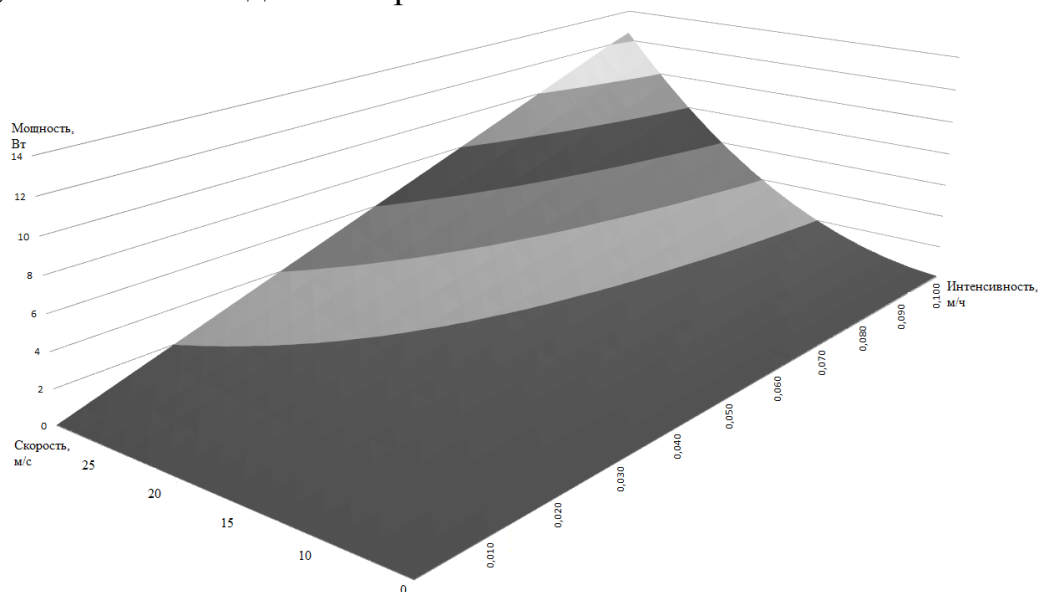
$$P = E_{\text{кап}} n, \quad (2)$$

где n – количество капель, падающих на поверхность площадью 1 м² за 1 с:

$$n = \frac{m}{\frac{4\pi}{3} r_{\text{кап}}^3}, \quad (3)$$

где m – интенсивность дождя, м/с; $r_{\text{кап}}$ – радиус капли дождя, м.

На рисунке показаны максимумы и минимумы мощности, которая передается поверхности площадью в 1 м², полученные при вариации значений интенсивности дождя и скорости капель. Наибольшее значение составляет 12,5 Вт, наименьшее – доли микроватта.



Зависимость мощности от интенсивности дождя и средней скорости капель

Нельзя сказать, что этот источник не разработан совсем. Время от времени ученые и исследователи предлагают проекты использования энергии дождя. И хотя многие из них не очень эффективны, попытки создать дождевой привод не прекращаются. Многие проекты используют не столько саму энергию дождя, сколько скопившуюся после него воду, и требуют, чтобы емкости с водой находилась на какой-либо высоте и жидкость обладала потенциальной энергией. Использовать кинетическую энергию дождя довольно трудно, ведь приходится преобразовывать давление в электрическую мощность.

Наиболее близким по смыслу к нашей теме является исследование о получении энергии от дождя французских ученых Томаса Джагера и его коллег [2]. Установка этих ученых (пластина из пьезоэлектрика PVDF, приборы, снимающие характеристики, с ее обкладок и пипетка с водой) использует именно энергию, накапливаемую каплями при выпадении в виде осадков, то есть в ход идет кинетическая энергия капли при ударе или энергия давления удара. Работа исследователей представляет собой две части: теоретическое исследование и практическое подтверждение, в ходе которого были получены следующие результаты: максимальные и минимальные вырабатываемые мощности и напряжения соответственно от 1 нДж и 1 мкВ до 25 мкДж и 12 мВ. Говоря об этой работе, можно отметить, что все расчеты проведены с большой точностью, рассмотрены возможные «способы падения» капли и построены зависимости выходных функций от различных параметров. Недостатками этой работы, на мой взгляд, являются проведение эксперимента в статических условиях (ведь дождь сам по себе нестатическое явление) и использование одновременно энергии только одной капли (тогда как в реальности было бы получено более 10 капель в некоторый момент времени на всю площадь установки). Также, вероятно, с усовершенствованием конструкции КПД установки мог бы быть повышен значительно.

Для того чтобы объяснить принцип преобразования энергии, обратимся к понятию пьезоэффекта. Пьезоэлектрический эффект – эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект) [3, 4]. Пьезоэлемент – электромеханический преобразователь, изготавливаемый из пьезоэлектрических материалов, определенной формы и ориентации относительно кристаллографических осей. Конструктивно пьезоэлемент – пластинка с нанесенными на неё электродами.

Основная характеристика пьезоэлемента – пьезоэлектрический модуль d – отношение механической деформации к приложенному электрическому полю, Кл/Н. При толщине пластинки кварца $d = 0,5$ см и приложенной механической силе 1 кН напряжение между обкладками будет $U \sim 30$ В. Если подобрать материал и размеры, то можно добиться значений ЭДС пьезоэлемента в несколько киловольт. Пьезоэлектрические материалы – это пьезокристаллы (кварц, турмалин), пьезокерамика и некоторые полиматериалы. Пьезоматериалам свойственно так называемое старение – изменение параметров (диэлектрической проницаемости, пьезомодулей) со временем, особенно заметное в первые несколько суток после изготовления и поляризации образцов. В работе Н. М. Кочаряна и др. [5], изготовивших самостоятельно образцы пьезоэлемента,

приводятся результаты исследования пьезоэлектрического эффекта в поливинилхлориде-ПВХ (стоимость в настоящее время 95 р./кг). Показано, что при времени поляризации 3–5 часов получается лучший результат. Полученный максимальный пьезомодуль $4 \cdot 10^{-8}$ СГСЭ ($1,33 \cdot 10^{-12}$). Пьезомодуль измерялся статическим методом. Приводятся данные «времени жизни» пьезоэлектрического свойства в ПВХ.

Список литературы

1. Большая советская энциклопедия: В 30 т. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
2. Romain Guigon, Jean-Jacques Chaillout, Thomas Jager. Ghislain Despesse Harvesting raindrop energy // Smart Materials and Structures. 2008. Vol.17. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://iopscience.iop.org/0964-1726/17/1/015038/cites> (дата обращения: 20.11.2014).
3. Корицкий Ю. В., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Справочник по электротехническим материалам. Т. 3. М.: Энергия, 1976. Энергоатомиздат, 1988.
4. Леванюк А. П., Санников Д. Г. Пьезоэлектричество // Большая Советская энциклопедия. М.: Советская Энциклопедия, 1969–1978.
5. Кочарян Н. М. Пьезоэлектрический эффект в поливинилхлориде // Физика. Ереван: АН Армянской ССР. 1966. Т. 1. С. 217–221.

УДК 620.97

Терехов А. Н.
Уральский федеральный университет,
skisar@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

Для оценки ресурса солнечной энергии, приходящей на единицу поверхности, применяются различные показатели. Обычно используется значение среднегодового, среднемесячного и суточного количества энергии, единица измерения которого $[(\text{кВт} \cdot \text{ч})/\text{м}^2]$. Также часто используется так называемое «количество пиковых часов» солнечного сияния за период – это приведенное значение, которое обычно получается делением прихода энергии за период на $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Этот параметр удобно использовать, так как обычно все параметры солнечных батарей и солнечных коллекторов указываются именно при этой пиковой освещенности.

Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно «собрать» этот поток энергии и преобразовать его в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку.

Солнечные коллекторы разного типа позволяют получить тепловую энергию, которая в первую очередь используется для приготовления горячей воды, что особенно актуально в летний период года, когда наблюдается максимальная солнечная активность и максимальное потребление горячей воды. Кроме этого, в отдельных случаях при построении комбинированных котельных установок тепло от солнечных коллекторов частично можно использовать в различных

системах отопления, например, при работе котельной установки в переходные периоды года. Такой подход позволяет существенно повысить эффективность котельной установки в целом.

Используя энергию Солнца, гелиосистемы позволяют ежегодно экономить традиционное топливо:

- до 75 % для горячего водоснабжения (ГВС) при круглогодичном использовании;
- до 95 % для ГВС при сезонном использовании;
- до 50 % для целей отопления;
- до 80 % для целей дежурного отопления.

До недавнего времени система солнечного теплоснабжения находила свое применение в основном в южных странах, где интенсивность солнечного излучения составляет более $2000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. Однако при существующем уровне оборудования для преобразования солнечной энергии в тепловую можно говорить об эффективности его использования и в средней полосе России, в том числе и на Урале. Город Екатеринбург расположен на географической широте $56^\circ 50'$. Количество солнечной радиации по Екатеринбургу, поступающей на горизонтальную поверхность, составляет около $1100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$. Среднемесячные значения суммарной солнечной энергии служат исходными данными при расчете солнечных установок. В настоящее время в зависимости от объемов нагреваемой воды, конечной температуры нагрева и других факторов, используются различные системы солнечного теплоснабжения. Самыми известными являются термосифонная (безнасосная) и двухконтурная системы. Анализ характеристик этих систем и коллекторов, применяемых для преобразования солнечной энергии в тепловую, показал, что для территории Среднего Урала наиболее целесообразна двухконтурная система теплоснабжения с принудительной циркуляцией теплоносителя. Помимо затрат электроэнергии, система требует установки контролирующих электроприборов, отвечающих за своевременное включение и выключение насоса. Несмотря на это, по сравнению с термосифонной, данная система обладает более высокой производительностью и возможностью работы при низких температурах.

В последнее время все более широкое применение в России находят системы с вакуумными солнечными коллекторами. В солнечные летние дни разница в работе хороших плоских и вакуумных солнечных коллекторов практически незаметна. Однако при низкой температуре окружающей среды преимущества вакуумных коллекторов становятся очевидны. Даже в летнее время есть разница между максимальными температурами нагрева воды в коллекторах. Если для плоских коллекторов максимальная температура не превышает $80\text{--}90^\circ\text{C}$, то в вакуумных коллекторах температура теплоносителя может превышать 100°C . С одной стороны, это требует постоянного отвода тепла от вакуумного коллектора, чтобы он не закипел, или применения других технических решений для предотвращения перегрева воды в теплоаккумулирующем баке. С другой стороны, в системах с плоскими коллекторами существует проблема размножения бактерий и других микроорганизмов (там тепло и влажно), которой нет в системах с вакуумными коллекторами (в них происходит перио-

дическая «пастеризация и стерилизация» за счет более высокой температуры. Так, средняя температура в работающей системе с плоскими коллекторами обычно составляет 40–50 °С, а в системе с вакуумными коллекторами 60–80 °С (значения указаны для лета при типичном потреблении горячей воды).

Обычно системы с плоскими коллекторами используют сезонно, с весны по осень. В зимнее время производительность систем с плоскими солнечными коллекторами падает за счет теплопотерь в окружающую среду. В круглогодичных солнечных водонагревательных установках обычно используются вакуумные солнечные коллекторы, хотя в южных регионах России возможно использование и плоских коллекторов в хорошей теплоизоляции. В любом случае необходимо уделять пристальное внимание теплоизоляции труб, идущих к коллектору и от него (рис. 1).

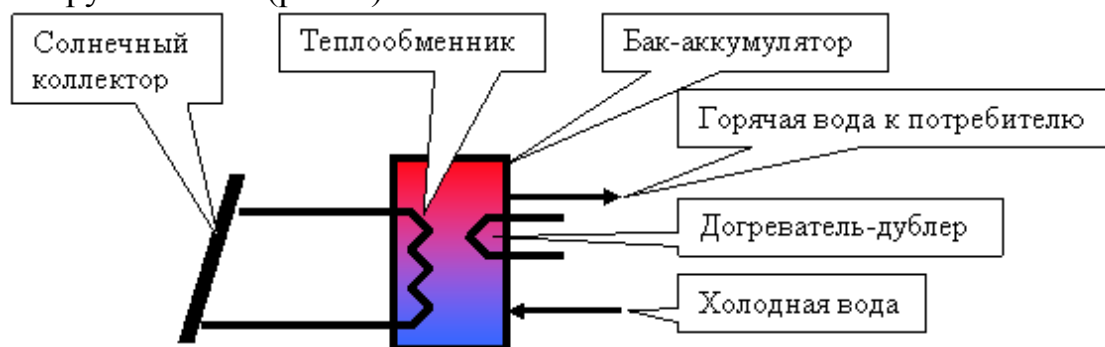


Рис. 1. Принцип работы солнечной водонагревательной установки

В вакуумном коллекторе объем, в котором находится темная поверхность, поглощающая солнечное излучение, отделен от окружающей среды вакуумом, что позволяет практически полностью устранять потери теплоты в окружающую среду за счет теплопроводности и конвекции. Потери на излучение в значительной степени подавляются за счет применения селективного покрытия. Так как полный коэффициент потерь в вакуумном коллекторе мал, теплоноситель в нем можно нагреть до температур 120–160 °С. Солнечный вакуумный коллектор обеспечивает сбор солнечного излучения в любую погоду практически вне зависимости от внешней температуры. Коэффициент поглощения энергии таких коллекторов при степени вакуума 10^{-5} , 10^{-6} составляет 98 %. Благодаря высокой теплоизоляции вакуумные солнечные коллекторы работают очень эффективно при низких температурах окружающей среды. Преимущество вакуумных коллекторов перед плоскими начинает проявляться при температуре воздуха ниже 15 °С. При отрицательных температурах воздуха вакуумным коллекторам альтернативы нет.

Солнечные тепловые установки на основе вакуумных коллекторов могут применяться как для целей горячего водоснабжения, так и для отопления дома. При этом в летнее время можно полностью получать горячую воду от солнечного нагревателя. В остальное время года за счет энергии Солнца можно получать до 60 % горячей воды.

Часто возникает вопрос, насколько реально отапливать дом за счет энергии Солнца. К сожалению, в европейской части России о значительной доле солнечного отопления в тепловом балансе говорить не приходится. Однако солнечная отопительная установка на основе вакуумных солнечных коллекто-

ров может с успехом справляться с задачей поддержания минимальной заданной температуры дома весной и осенью.

В зимнее время тоже можно рассчитывать на некоторую добавку тепловой энергии для отопления. Но она будет незначительна в декабре и январе.

В мастерских кафедры АЭС и ВИЭ УрФУ установлены два вакуумных солнечных коллектора с баком-накопителем производства компании «Аристон» (рис. 2). При этом есть проблема утилизации тепла, получаемого от солнечных коллекторов, особенно в летний период. Там же установлен тепловой насос (рис. 3).



Рис. 2. Вакуумные коллекторы и бак-аккумулятор фирмы «Аристон»

Идея состоит в том, чтобы сбрасывать излишнюю тепловую энергию, получаемую от солнечного коллектора в грунт, и использовать эту энергию для увеличения КПД теплового насоса.

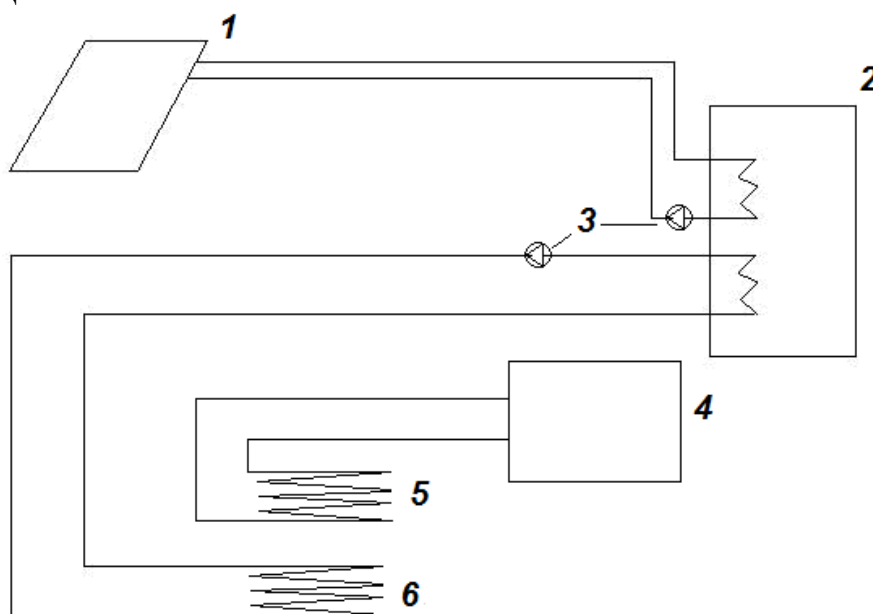


Рис. 3. Схема использования солнечного коллектора для подогрева грунтового контура теплового насоса:

- 1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор солнечного коллектора;
3 – циркуляционные насосы, 4 – тепловой насос; 5 – грунтовой контур теплового насоса;
6 – подогревающий контур от солнечного коллектора

После монтажа данной системы планируется ее подключение к системе удаленного мониторинга, что позволит отслеживать работу системы дистанционно.

УДК 662.767.2

Терпелец М. А., Попов А. И., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет,
mikhail.terpelets@gmail.com

АНАЭРОБНЫЙ РЕАКТОР

Анаэробный процесс сбраживания биомассы в биогазовых установках в целях получения метана является весьма затратным, поэтому разрабатываются различные варианты совершенствования биогазовых установок [1].

Сотрудниками малого инновационного предприятия «Центр новых энергетических технологий» УрФУ совместно со специалистами ООО «Гильдия М» разработан инновационный проект анаэробного реактора нового поколения по патенту 2518307.

Предлагаемое изобретение относится к биоэнергетике и может быть использовано в составе метантенков разных конструкций для увеличения их производительности.

Известны устройства аналогичного назначения, например аппараты метанового брожения финских фирм «Энбом» и «Мабби», шведской фирмы «Соригона», установки ФУ-30, ФУК-20, разработанные в Латвии В. Дубровским, У. Виестур и др. [2]

Общим недостатком перечисленных устройств является наличие продуктов недоброда в остатке и значительное содержание (до 45 %) окиси и двуокиси углерода в биогазе на выходе метантенков.

В любых биогазовых установках требуется обеспечить равномерность подачи субстрата, так как продукты обмена веществ каждой группы бактерий являются питательным веществом для последующей группы бактерий, причем они выделяют газ с различной скоростью.

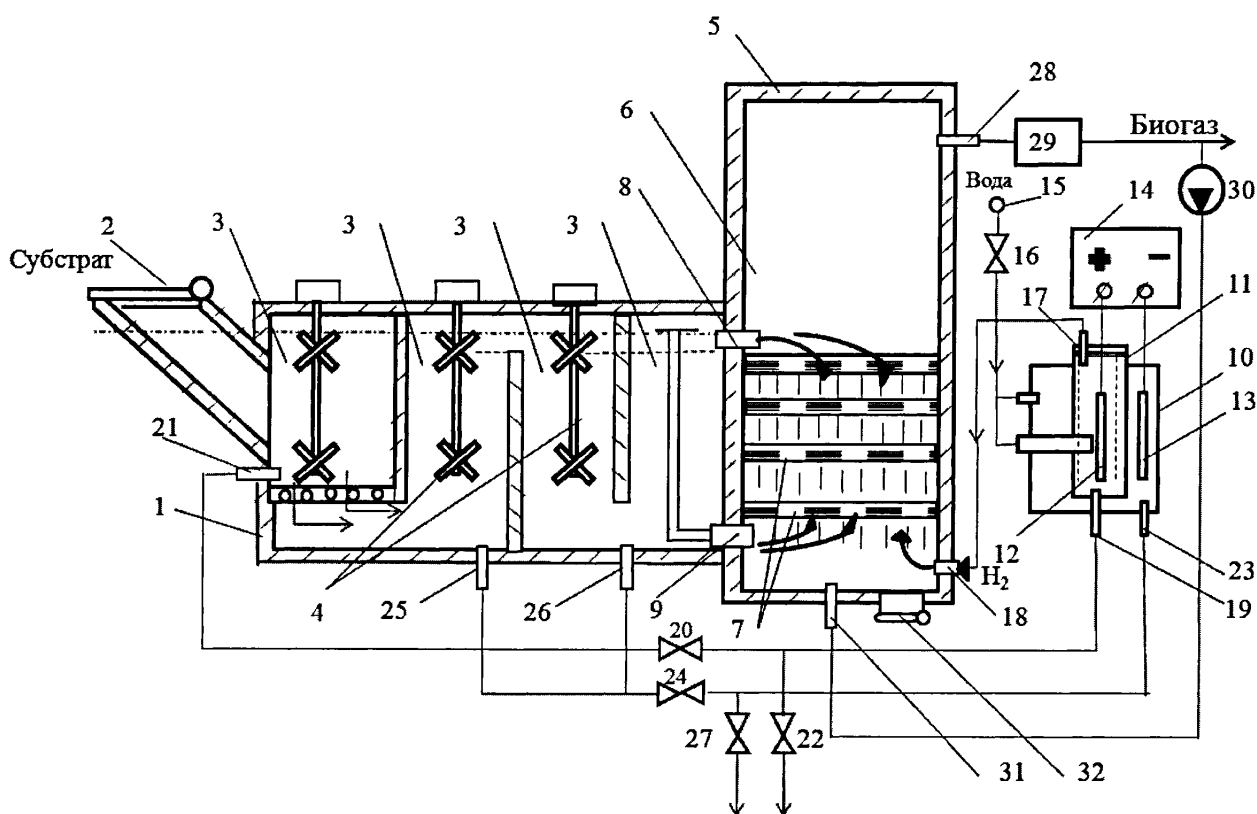
Предложенный анаэробный реактор (рисунок) работает следующим образом.

При очередной порционной загрузке в устройство 2 подготовленного сырья происходит перелив сброженного субстрата через патрубок 8 в верхнюю часть колонны 5 и перемещение его вниз через секции 7, заполненные засыпкой. Одновременно снизу через патрубок 9 поступает биогаз, а через патрубок 18 водород.

В сброженном субстрате всегда содержится часть недоброда – не полностью сброженного сырья, а в биогазе до 45 % двуокиси углерода, которая обычно отделяется от метана уже после метантенков и используется для получения из нее «сухого» льда или сжатого газа в баллонах.

Добавляя в электролизёр через патрубок 18 чистый водород совместно с неочищенным биогазом, поступающим через патрубок 9, в секциях 7 колонны можно получить дополнительные объёмы метана за счет реакции восстановления водородом окиси и двуокиси углерода. Это позволяет уменьшить объём недоброда, так как большее количество метановых бактерий участвует в химических преобразованиях. Изменение процентного соотношения «метан – углекислый газ» контролируется датчиками и газоанализатором на выходе газа после штуцера 28.

Аналит с выхода 19 и католит с выхода 23 электролизера подаются в камеры брожения в зависимости от требуемого pH для разных видов сырья.



Анаэробный реактор

Другой отличительной особенностью предлагаемого технического решения является заполнение секций засыпкой из углеродного войлока, имеющего чрезвычайно развитую поверхность. Например, поверхность пор всего 1 г углеродного волокнистого сорбента составляет, по данным Рязанского военного автомобильного института, 2380 м².

Подобные материалы выпускают ФГУП НПЦ «Углерод» и РУП СПО «Химволокно» [3], например: углеродный войлок по ТУ 3497-029-11590737-04. Такого рода материалы допускают нагрев до 1500 °С, при котором происходит выгорание накопившегося мусора, и после очищения войлока он может использоваться в секциях колонны многократно.

За счет развитой поверхности углеродного войлока молекулам водорода, метановым бактериям и молекулам углекислого газа обеспечивается большая

поверхность контакта для их взаимодействия и образования дополнительного объема метана. Одновременно дображивается несбродившая часть субстрата, перемещающаяся сверху вниз – навстречу биогазу и водороду.

Большая степень обогащения биогаза за счет снижения в нем CO_2 и увеличения доли CH_4 достигается неоднократной продувкой биогаза насосом 30, подающим биогаз с выхода колонны после гидравлического затвора 29 на вход в нижнюю часть колонны через патрубок 31.

Контролируя подачу необходимого объема водорода в колонну, а также анализа и католита в другие камеры реактора, представляется возможным существенно повысить объем получаемого метана и улучшить качество сброженного сырья. При этом обеспечиваются оптимальные pH и температура субстрата в камерах.

Предложенное техническое решение найдет широкое применение для использования в составе метантенков разных конструкций, в целях увеличения их производительности.

Список литературы

1. Процесс получения биогаза: информационный материал фирмы ZORG. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zorg-biogas.com> (дата обращения: 21.11.2014).
2. Виестур У. Э., Кузнецов А. М., Савенков В. В. Системы ферментации. Рига : Зинатне, 1986, 174 с.
3. Ткани углеродные РУП СПО «Химволокно». [Сайт]. URL: <http://www.sohim.open.by> (дата обращения: 21.11.2014).

УДК 662.767.2

Трифонов В. Д., Ткачев В. К., Трубицын К. В.
Самарский государственный технический университет,
tcf-samgtu@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОГАЗА

Биогазовая система БГС-1, подробное описание и проектирование которой представлено авторами в [1], состоит из метантенка (реактора), газгольдера, систем загрузки и выгрузки, устройства смешения, выпускного газопровода, а также дополнительных элементов системы, предназначенных для хранения газа, производства тепла и т. д. Для наиболее эффективной ферментации БГС-1 дополняется устройствами теплообмена, в которых в качестве теплоносителя используется вода, подогревая до 50–60 °С.

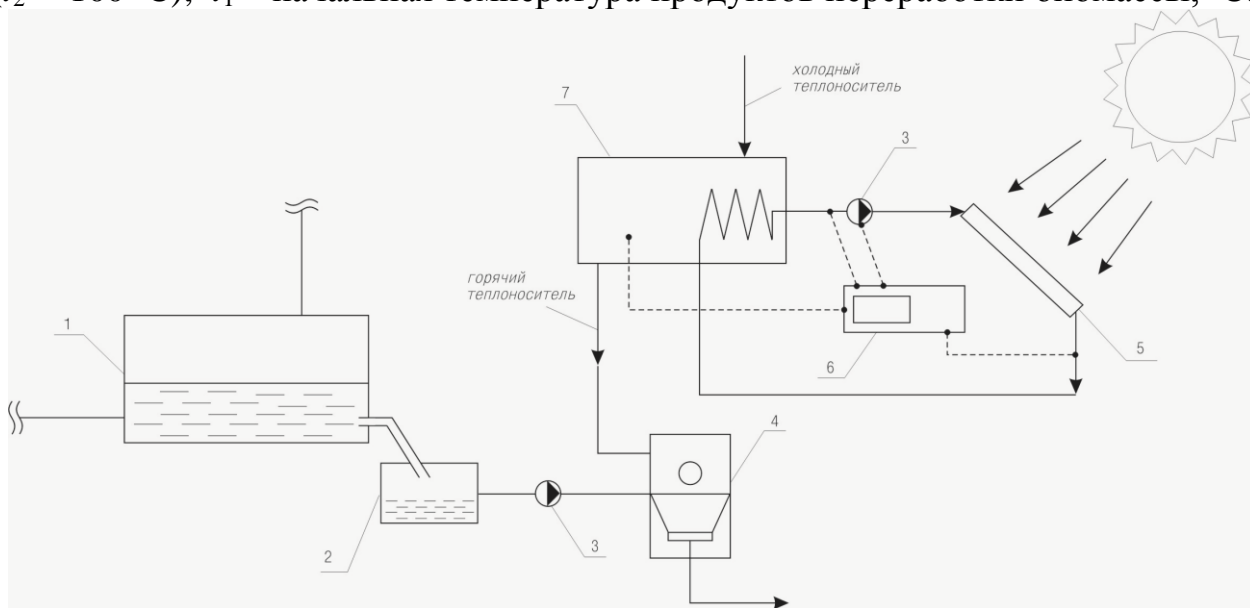
В текущем исследовании авторы попытались произвести расчет выработанного при помощи солнечного коллектора необходимого количества энергии, предназначенной для сушки продуктов переработки биомассы после анаэробного сбраживания в метантенке. Таким образом, существующую схему биога-

зовой системы БГС-1 (см. рисунок) дополним еще одним элементом – сушильной установкой 4 с применением солнечного коллектора 5.

Для получения концентрированных сухих органических удобрений (влажность не более 15 %) необходимо испарить минимум 65 % воды из оставшихся после выделения биогаза продуктов переработки биомассы (далее – продукты переработки). Для этого необходимо нагреть продукты переработки с 30 °С до температуры кипения воды (100 °С). При этом необходимое для нагрева воды количество теплоты можно определить по формуле

$$Q_1 = C_{\text{бм}} m (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где Q_1 – количество теплоты, необходимое для нагрева биомассы до температуры 100 °С, Дж; $C_{\text{бм}}$ – средняя теплоемкость биомассы, Дж/(кг·г); m – масса продуктов переработки биомассы, кг; t_2 – температура кипения воды ($t_2 = 100$ °С); t_1 – начальная температура продуктов переработки биомассы, °С.



Включение сушильной установки с применением солнечного коллектора в схему биогазовой системы БГС-1: 1 – метантенк (реактор); 2 – резервуар для продуктов переработки биомассы; 3 – насос; 4 – сушильная установка; 5 – солнечный коллектор; 6 – микропроцессор; 7 – теплообменник

Помимо теплоты, необходимой для нагрева продуктов переработки до температуры кипения воды, требуется учесть то количество теплоты, которое пойдет на перевод воды в газообразное состояние (пар). Такое количество теплоты можно определить по формуле

$$Q_2 = r \cdot 0,65m, \quad (2)$$

где Q_2 – количество теплоты, требуемое для перевода воды в пар, Дж; r – теплота парообразования воды, Дж/кг; m – масса продуктов переработки биомассы, кг; 0,65 – массовая доля воды, требуемой к испарению.

Следовательно, общее количество теплоты, которую необходимо сообщить продуктам переработки для получения сухих концентрированных органических удобрений составляет

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (3)$$

Рассчитаем по формулам (1)–(3) количество теплоты Q , необходимое для получения сухих концентрированных органических удобрений влажностью 15 % из 1 кг продуктов переработки.

Учитывая, что средняя теплоемкость продуктов переработки биомассы $C_{\text{бм}} = 4100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, а их начальная температура $t_1 = 30^\circ\text{C}$, получаем:

$$Q_1 = 4100 \cdot 1 \cdot (100 - 30) = 287000 \text{ Дж} = 287 \text{ кДж}.$$

Зная теплоту парообразования воды ($r = 2260 \text{ кДж/кг}$), определим теплоту парообразования Q_2 :

$$Q_2 = 2260 \cdot 0,65 \cdot 1 = 1469 \text{ кДж}.$$

Общее количество теплоты

$$Q = 287 + 1469 = 1756 \text{ кДж}.$$

Следовательно, для того чтобы из 1 кг продуктов переработки получить сухие концентрированные органические удобрения, потребуется 1756 кДж теплоты.

Рассмотрим возможность применения солнечного коллектора в устройстве сушильной установки. Для этого предположим, что опытная биогазовая система БГС-1 производит 300 кг продуктов переработки биомассы за месяц (или 105 кг сухих концентрированных органических удобрений). Следовательно, суточный выход продуктов переработки составляет 10 кг (или 3,5 кг сухих удобрений). Для получения такого количества удобрений за один день необходимо затратить 15 885 кДж теплоты.

Используя для выработки данного количества теплоты современные солнечные коллекторы, можно рассчитать их необходимую мощность [2].

$$N_{\text{мес}} = E_{\text{инс}} S_{\text{тр}} \eta, \quad (4)$$

где $N_{\text{мес}}$ – мощность, вырабатываемая одной трубкой солнечного коллектора за месяц; $E_{\text{инс}}$ – месячная (среднегодовая) инсоляция квадратного метра (из таблицы инсоляции); $S_{\text{тр}}$ – площадь поглощения одной трубки солнечного коллектора; η – коэффициент полезного действия солнечного коллектора (~80 % при использовании вакуумных трубок).

$$N_{\text{мес}} = 87 \cdot 0,15 \cdot 0,8 = 10,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, получили месячную выработку энергии солнечным коллектором, используя следующие данные:

– $E_{\text{инс}} = 87 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ (для средней полосы России; рассчитана как среднегодовая величина инсоляции за один календарный месяц);

– $S_{\text{тр}} = 0,15 \text{ м}^2$ – площадь поглощения одной вакуумной трубки солнечного коллектора «Дача-1/15. FT-XF-II-15»; $\eta = 0,8$ [2].

Значение $N_{\text{мес}} = 10,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ соответствует 0,35 кВт·ч энергии в день, что равно 1 260 кДж. Такую энергию позволяет вырабатывать одна трубка солнечного коллектора «Дача-1/15. FT-XF-II-15».

Сопоставляя полученную энергию с количеством теплоты, необходимым для получения заданного количества сухих концентрированных органических

удобрений, делаем вывод, что для этого следует использовать солнечный коллектор «Дача-1/15. FT-XF-II-15» с 15 вакуумными трубками.

Список литературы

1. Ткачев В. К., Бородин Г. И., Трубицын К. В. Проектирование биогазовой системы для предприятий сельского хозяйства Самарской области // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : Сб. материалов Всерос. студ. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург : УрФУ, 2012. С. 399-401.
2. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. URL: <http://suncollector.ru> (дата обращения: 18.11.2014).

УДК 620.92

Ферафонтова С. С., Николаев А. В., Мазанкина Д. В.
Альметьевский государственный нефтяной институт,
teplotexAGNI@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (МЭК) В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тяжелые нефти в условиях истощения традиционных энергетических ресурсов приобретают все большее значение в мировой экономике. Особое значение они имеют и в Татарстане, где месторождения легкой нефти выработаны более чем наполовину.

В настоящее время извлечение высоковязкой нефти связано с огромными энергетическими и финансовыми затратами, что отражается на высокой себестоимости конечного продукта. В связи с этим актуальным является вопрос о методах уменьшения расходов на её добычу.

С другой стороны, быстрыми темпами происходит развитие технологий, основанных на использовании нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Их совместное применение с системами, действующими на традиционном топливе, в конечном итоге способно сократить затраты, связанные с извлечением тяжелой нефти.

Одним из видов такого оборудования, сочетающим в себе возможность использования различных видов энергии, является многофункциональный энергетический комплекс (МЭК). При параллельной работе паровых котельных, применяемых при добыче тяжелой нефти, в сочетании с МЭК появляется возможность сокращения затрат и уменьшения расхода традиционного топлива.

В самом общем виде МЭК представляет собой систему энергоснабжения, состоящую из отдельных модулей, конструктивно и функционально совместимых между собой. Комбинации согласуемых модулей позволяют в зависимости от конкретных условий получать различные по составу и мощности варианты МЭК. Основные модули могут быть подключены к энергосистеме или работать

на изолированного потребителя, локальную сеть. Модульное исполнение и специальная система управления позволяют вводить МЭК в эксплуатацию поэтапно и гибко изменять схему работы.

В multifunctional энерготехнологических комплексах можно использовать традиционные энергоносители с нетрадиционными и возобновляемыми энергоресурсами.

Тип используемых модулей определяется на основе оптимизации проекта в целом. При этом учитываются виды и запасы традиционных энергоносителей, а также энергетический потенциал и плотность возобновляемых источников энергии; характеристика потребителя энергии; климатические особенности.

В состав МЭК могут входить следующие модули:

- модуль по производству моторных топлив (газогенератор, малогабаритная установка для получения из нефти или газового конденсата моторных топлив, аккумулятор энергии с водородным циклом и т.д.);
- многотопливный ДВС (газодизель, газовый и водородный ДВС, многотопливная модификация дизеля и т. д.);
- ветроустановка или солнечные панели;
- комплексная система утилизации тепла дизеля и модулей МЭК;
- всережимный генератор;
- статический преобразователь частоты;
- системы аккумулирования вырабатываемой комплексом электрической и тепловой энергии;
- система автоматического управления МЭК.

Многofunctional комплексы могут иметь ряд преимуществ:

- экономия топлива : на 10–20 % за счет оптимизации режимов работы ДЭС (в зависимости от нагрузки) и на 20–30 % за счет использования ветроустановки;
- короткие сроки окупаемости;
- многотопливность (дизельное топливо, сырая нефть, газовый конденсат, природный газ, уголь, торф, отходы деревообработки, генераторный газ, водород и т. д.);
- транспортабельность, обусловленная модульной компоновкой МЭК;
- повышение коэффициента использования топлива от 0,40–0,45 до 0,80–0,85 за счет комплексной утилизации тепла отработавших газов ДВС;
- возможность совместной работы при любом соотношении ДЭС и нетрадиционных источников энергии за счет применения всережимного генератора, преобразователя частоты и САУ.

Таким образом, совместное использование МЭК с котельными агрегатами на месторождениях тяжелой нефти способно оказать значительное влияние на снижение затрат ее добычи и создать условия для окупаемости данного оборудования в период от 3 до 5 лет.

АНАЛИЗ РЫНКА АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ ВИЭ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Известно, что возобновляемая энергия является рассредоточенной в окружающей среде и имеет стохастический характер проявления. Непостоянство характеристик ветра, Солнца или волн – зачастую требует использования аккумулирующих энергию систем.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ ведутся разработки различных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые могут быть применены потребителем с использованием аккумуляторных батарей (АКБ).

Задачей исследования было изучить рынок аккумуляторов для выбора наиболее эффективных и доступных потребителю АКБ.

На рынке аккумуляторных батарей фирм-производителей достаточно много. Рынок аккумуляторов условно можно поделить на три сегмента: премиум, массовый, эконом класса. Основным критерием здесь является цена и качество продукции.

В табл. 1 и 2 показаны соответственно наиболее крупные отечественные производители и мировые поставщики АКБ в Россию.

Таблица 1

Отечественные производители АКБ [5, 6]

№ п/п	Производитель	Город	Объем производства, шт.
1	ЗАО «АКОМ»	Жигулевск	1 312 000
2	«Исток» и «КЗА»	Курск	1 173 000
3	ОАО «Тюменский аккумуляторный завод»	Тюмень	1 034 600
4	Филиал ООО «Тубор»	Нижегородская обл.	808 000
5	ЗАО «АкТех-Байкал»	Иркутская обл.	517 000
6	ЗАО МПКФ «Алькор»	Тюмень	443 400

Специалистам известны некоторые недостатки АКБ:

1. Негативное влияние низких температур на их работоспособность и срок службы.
2. Невозможность накапливать большое количество электроэнергии.
3. Саморазряд при хранении, зависящий от температуры – повышение на 10 °С удваивает его.
4. Наличие «эффекта памяти» у некоторых типов аккумуляторов.

5. Необходимые для производства аккумуляторов ресурсы, ограниченные в природе.

6. Подверженность старению.

Таблица 2

Мировые поставщики АКБ в Россию [5, 6]

№ п/п	Изготовители	Марки	Страна	Импорт АКБ, шт.
1	JOHNSON CONTROLS	Bosch, Varta, Afa	ЕС	1 253 258
2	МНПК «БЕСТА»	Amper, Docker, Ecostart, Feon, Forse, Istok, Sanfox, Vega, Vortex, Westa	Украина	824 324
3	MUTLU	Mutlu	Турция	720 896
4	EXIDE TECHNOLOGIES S.A.	Centra, Deta, Exide, Tudor	ЕС	329 902
5	DELKOR CORPORATION	American, Medalist, Cene, Delkor, Feon, Numax, Platinum, President, Tokler	Южная Корея	292 233
6	SEBANG GLOBAL BATTERY CO., LTD	Acdelco, Bosch, G&Yu, Global, Nordix, Rocket, Shik, Startex, Supreme	Южная Корея	283 960
7	TAB TOVARNA AKUMULATORSKIH BATERIJ,D.D	Moratti, Tab Polar, Taxxon, Topla	Словения	241 565
8	ATLASBX CO., LTD	Alphaline, Atlas, Dupex Silver+ Forte, Hankook, Super President	Южная Корея	193 298
9	НАК ИСТА (ЗАВОД 'ИСТА-ЦЕНТР, ДОЗ ЭНЕРГОАВТОМАТИКА)'	Ista, Mega Start, Volta	Украина	165 097
10	PANASONIC CORPORATION	Panasonic	Япония	
11	SHIN-KOBE ELECTRIC MACHINERY CO.LTD	Hitachi	Япония	
12	FURUKAWA CO., LTD	Fb, Super Nova	Япония	
13	JOHNSON CONTROLS AUTOBATERIAS SAS	Afa, Berga, Bosch, Energizer, Tenax, Varta	Чехия	
14	Leoch	FT,LPG, DJM, DJW	Китай	
15	Fiamm	FG, FGH, FGHL	Италия	
16	Delta	DT, DTA	Великобритания	

Для батарей серии DJW (для примера взят аккумулятор LEOCH серии DJW) расчетный срок службы при эксплуатации в буферном режиме будет 10 лет. Как правило, чем больше циклов разрядки претерпевает батарея и чем глубже разряды, тем короче срок службы батареи. Кроме того, воздействие температуры окружающей среды также оказывает влияние на срок службы батареи: при повышении температуры срок службы уменьшается (рис. 1).

В табл. 3 приведены характеристики основных типов аккумуляторов.

Таблица 3

Характеристики основных типов аккумуляторов [1-4]

Типы аккумуляторов	Плотность энергии, Вт·ч/кг	Срок службы, цикл / лет	Хранение	Рабочая температура, °C	Глубина разряда от номинальной емкости	Саморазряд в месяц (при температуре 20 °C)	Время заряда	Недостатки	Условная эффективность для применения в ВИЭ*
Никель-кадмиевые (NiCd)	40–60	100–900	Могут храниться разряженными	Устойчиво работает	Нужен глубокий разряд	20	Менее 1,5 ч	Эффект памяти; токсичность применяемых материалов	5
Литий-ионные (Li-Ion)	100	500–1000	Подзаряжать до 70 %	0 ... +60 (заряд при отрицательных температурах невозможен)	70–80	10	3–4 ч	Высокая стоимость, ограниченный ток нагрузки	3
Литий-полимерный аккумулятор	100–130	800–900	Заряженными на 40 % при температуре 5 °C	–20 ... +40	Глубокий разряд полностью выводит из строя	10	2–4 ч	Дорогое производство	6
Герметизированные свинцово-кислотные (SLA)	60–80	Более 10 лет	Без подзаряда 1 год от –35 до +60 °C	–20 ... +60	70–80	40	8–16 ч	Высокий саморазряд	1
Свинцово-кислотные (LA)	30–50	500–800	Заряжать 2 раза в полгода	–20 ... +60	до 50	5	8–16 ч	Кислотный электролит и свинец оказывают вредное воздействие на окружающую среду	4
Никель металлгидридные (NiMH)	60–120	До 1500	Заряженными на 40 % при T = 5 °C	–20 ... +40	80	30	2–4 ч	Относительно NiCd цены выше на 20 %	2

* Градация эффективности использования аккумуляторов от 1 до 6 (цифра 1 соответствует наиболее эффективному аккумулятору; цифра 6 – наименее эффективному)

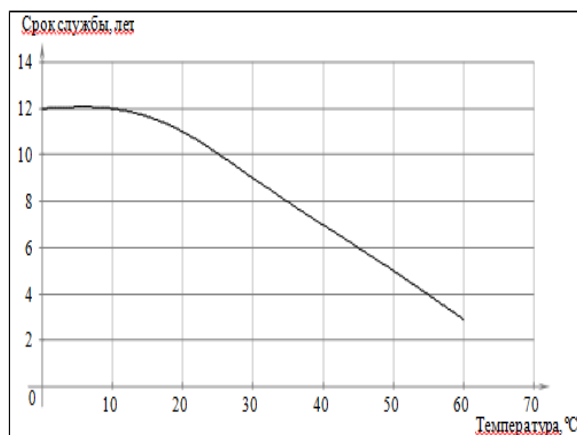


Рис. 1. Влияние температуры на срок службы аккумуляторной батареи «LEOCH» [7]

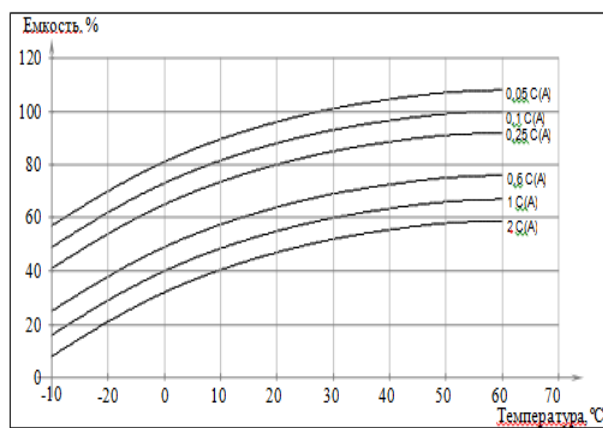


Рис. 2. Влияние температуры окружающей среды на емкость АКБ (батарея «LEOCH» серии DJW) [7]

Из графиков фирмы «LEOCH» (рис. 2) видно, что оптимальный температурный диапазон для эксплуатации АКБ находится от 20 до 30 °С. При превышении 30 °С потеря емкости будет незначительной, однако температура должна поддерживаться в этом диапазоне; при уменьшении температуры до 0 °С емкость будет уменьшаться также незначительно; а при снижении температуры ниже 0 °С уменьшение емкости будет значительным.

Важными характеристиками аккумуляторных батарей в системах с ВИЭ являются: срок службы аккумуляторной батареи, плотность энергии, широкий диапазон рабочих температур, низкий саморазряд, глубина разряда больше 70 % от номинальной емкости.

Наилучшими характеристиками из указанных в табл. 3 АКБ обладают герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторы. Также необходимо учитывать, что все эти характеристики производитель дает для определенной температуры, обычно +20... +30 °С. При отклонениях от этой температуры характеристики меняются и обычно в худшую сторону.

Список литературы

1. Щеклеин С. Е., Радченко Р. В. Аккумуляторы. Электрохимические источники энергии. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 150 с.
2. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.
3. Болотовский В. И., Вайсгант З. И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов. Л. : Энергоатомиздат, 1989. 119 с.
4. Каменев Ю. Б. Оценка перспективности свинцово-кислотных аккумуляторов // Сборник научных трудов по свинцовым аккумуляторам ЗАО «Электротяга». СПб. : Химиздат, 2005. С. 13–62.
5. Обзор рынка импортных АКБ за 2012 год : материалы отраслевого аккумуляторного портала. 17.05.2013 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.battery-industry.ru> (дата обращения: 12.11.2014).
6. Кольчугин Г. В. Аккумуляторный рынок России. Группа компаний «АКОМ». 04.09.2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.akom.ru> (дата обращения: 12.11.2014).
7. Reserve Power (GEL) / Leoch International Technology Limited [Электронный ресурс]. URL: <http://www.leoch.com> (дата обращения: 12.11.2014).

ОБЗОР СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГОРОДСКИХ ОБЪЕКТОВ

В нашей стране развитие теплонасосной энергетики находится на начальном этапе, поэтому вопрос выбора источника низкопотенциального тепла и потребителя здесь наиболее актуален, ведь установка любого теплового насоса должна приносить максимальный экономический эффект. Только экономически выгодные технологии имеют будущее для своего развития, необдуманная установка тепловых насосов в неправильном месте для неоправданных потребителей может создать плохую репутацию теплонасосным технологиям.

В городской черте традиционное применение тепловых насосов для отопления зданий с забором тепла из грунта, грунтовых вод или водоема имеет много проблем, которые фактически тормозят развитие их применения в городах России. Отопление с помощью теплонасосной установки (ТНУ), характерных для города, крупных зданий требует значительных объемов забора тепла от низкопотенциальных источников, что весьма проблематично в плотно застроенной городской среде. Более того, повсеместное применение в крупных городах центрального отопления создаёт неподъемную конкуренцию тепловым насосам. Наконец, высокая стоимость монтажных и инженерных работ по установке теплового насоса играет значительную роль для применения этой технологии в нашей стране, где экономические особенности затрудняют применение технологий, имеющих высокие сроки окупаемости [1]. Все это ставит Россию в число стран, отстающих по применению тепловых насосов от большинства развитых стран, хотя эта технология имеет у нас большие перспективы, поэтому внедрение тепловых насосов в отечественную городскую инфраструктуру требует иных подходов.

Прежде всего, следует рассмотреть различные пути применения тепловых насосов и способы забора низкопотенциального тепла. Во-первых, это использование отходов теплоты, таких как сточных вод коммунальных сетей и промышленных предприятий. Использование тепловых насосов в данном направлении позволяет не только утилизировать вредное для окружающей среды тепло, но и подготовить воду для объектов, где требуется охлаждаемая обратная вода [2]. Кроме того, тепловые насосы позволяют проводить вентиляцию зданий, осушение и обезвоживание, термическое разделение веществ и другие технологии в промышленности [3].

Среди способов применения тепловых насосов в общественных сооружениях наиболее перспективным является их использование для подогрева и регулирования температуры воды в бассейне. Постоянный подогрев больших масс поступающей воды наряду с большими сбросами отработанной воды в ка-

нализацию позволяет применить тепловые насосы в двух направлениях. Тепловые насосы могут не только подогревать воду в бассейне, но и утилизировать тепло сточных вод с дальнейшей выработкой тепла для подготовки горячей воды [4].

Использование тепловых насосов в жилищно-коммунальной сфере поможет повысить эффективность как индивидуальных систем отопления, так и сетей централизованного теплоснабжения. Однако их внедрение в данную сферу требует особого подхода, связанного с выбором источника тепла и различными подходами к использованию тепловых насосов, в том числе для кондиционирования зданий и утилизации тепла сточных вод [5].

В дальнейшей работе предполагается теоретически рассмотреть способы применения тепловых насосов для существующих промышленных объектов города Челябинска. Будет проведен обзор заводов, фабрик, электростанций, коммунальных сетей, бассейнов и прочих объектов, где имеется возможность осуществления утилизации тепла и подготовки воды с помощью тепловых насосов, рассмотрены принципы осуществления таких технологий. На основе полученных данных будет произведена экономическая оценка рассмотренных технологий.

Список литературы

1. Филиппов С. П., Дильман М. Д., Ионов М. С. Перспективы применения тепловых насосов в России // Энергосовет. 2011. № 5(18). С. 11–18.
2. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании / Г. П. Васильев, Д. Г. Закиров, И. М. Абуев, В. Ф. Горнов // Водоснабжение и канализация. 2009. № 7–8. С. 57–58.
3. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения : пер. с нем./ под ред. Б.К. Явнеля. М.: Стройиздат, 1985. 352 с.
4. Садовников А. А. Использование тепловых насосов для подогрева воды в бассейнах // Сантехника. 2013. № 2. С. 18–26.
5. Бриганти А. Тепловые насосы в жилых помещениях // АВОК. 2001. № 5. С. 24.

УДК 621.311.25

Чигак А. С., Шерьязов С. К.

Челябинская государственная агроинженерная академия,
sakenu@yandex.ru, alex_174_2@mail.ru

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Общепризнано, что основным фактором развития цивилизации является эффективное использование источников энергии. В основном мы используем традиционные энергоресурсы, такие как нефть, уголь, природный газ. При этом наносится колоссальный ущерб нашему общему дому под названием Земля. Так, мировая экономика потребляет огромное количество энергии около 460 млн ТДж/год. При этом из-за сжигания органического топлива ежегодно в атмосферу выбрасывается более 27 млрд т диоксида углерода. Содержание ди-

оксида углерода в атмосфере увеличилось за 150 лет на 30 %, что является одной из причин глобальных изменений климата.

Рост мировой экономики ограничивается дефицитом энергоресурсов и растущими ценами на них. В связи с этим в последнее время большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии. В этом ряду наиболее перспективной является солнечная энергетика [1].

Солнечную энергию можно преобразовать в другие виды, в частности в тепловую с помощью солнечных коллекторов (СК) и электрическую с помощью солнечных батарей (СБ). Для получения горячей воды и обогрева помещений целесообразно использование СК. При этом важным условием является автономность системы теплоснабжения.

В настоящее время разработана система солнечного теплоснабжения (СТС) жилого дома, которая действует в условиях Южного Урала; для повышения степени ее автономности следует разработать независимые от электросети источники электропитания.

В установках солнечного теплоснабжения наиболее распространены циркуляционные насосы (ЦН), работающие на переменном токе под напряжением 220 В, что объясняется относительной их простотой и возможностью прямого подключения к электросети. Эти насосы имеют ряд недостатков: при исчезновении напряжения в сети насос останавливается, возможности регулирования оборотов двигателя ограничены. Поэтому предпочтительнее использовать насосы, работающие на постоянном токе, с питанием от солнечных батарей.

В автономной системе СТС СБ питает ЦН в контуре СК. При этом требуется выбрать по мощности сам источник – СБ и ЦН, обеспечивающий необходимую производительность.

Для исследования зависимости параметров СБ и насоса постоянного тока от величины мощности потока солнечного излучения, нами разработана лабораторная модель. Солнечный модуль (СМ) располагается на крыше дома под углом наклона, соответствующим оптимальному значению при круглогодичном использовании на широте Челябинска. Для согласования насоса и СМ по напряжению разработано устройство с высоким КПД, схема подключения которого представлена на рис. 1.

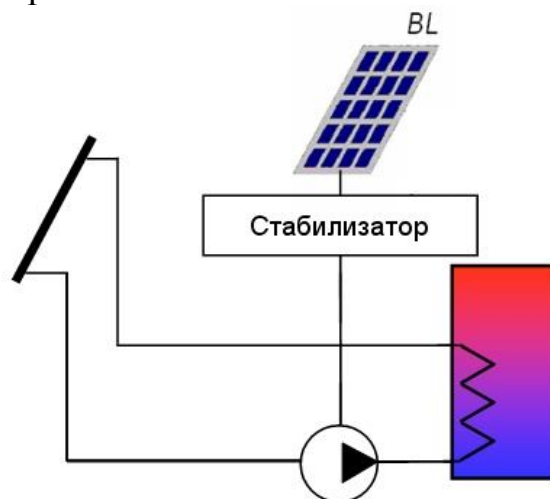


Рис. 1. Схема подключения насоса к СМ

В ходе эксперимента были исследованы режимы работы элементов предлагаемой схемы. Результаты исследования представлены на рис. 2.

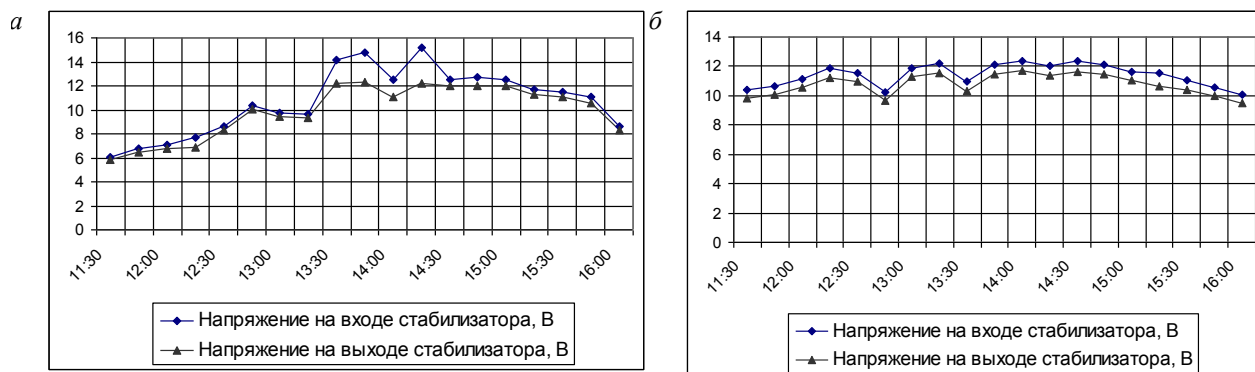


Рис. 2. Изменение напряжения за исследуемый промежуток времени:
 а – изменение напряжения в марте; б – изменение напряжения в июле

Анализ приведенных графиков показывает, что предлагаемое техническое решение обеспечивает поддержание уровня напряжения на выходе в пределах заданной величины при превышении величины входного напряжения СМ над номинальной. При снижении напряжения ниже номинального стабилизатор не влияет на работу оборудования.

По результатам исследования на модели получено оптимальное соотношение мощностей СМ и ЦН для автономной системы теплоснабжения [2, 3]. Для проверки его работы по критерию оптимальности при круглогодичном использовании системы СТС произведены расчеты и замеры соответственно удельной мощности потока солнечного излучения и производительности насоса. Результаты исследования приведены на рис. 3.

При этом угол наклона СБ выбирается таким образом, чтобы обеспечить постоянство вырабатываемой СБ мощности в течение расчетного периода (сезон, год и т.п.).

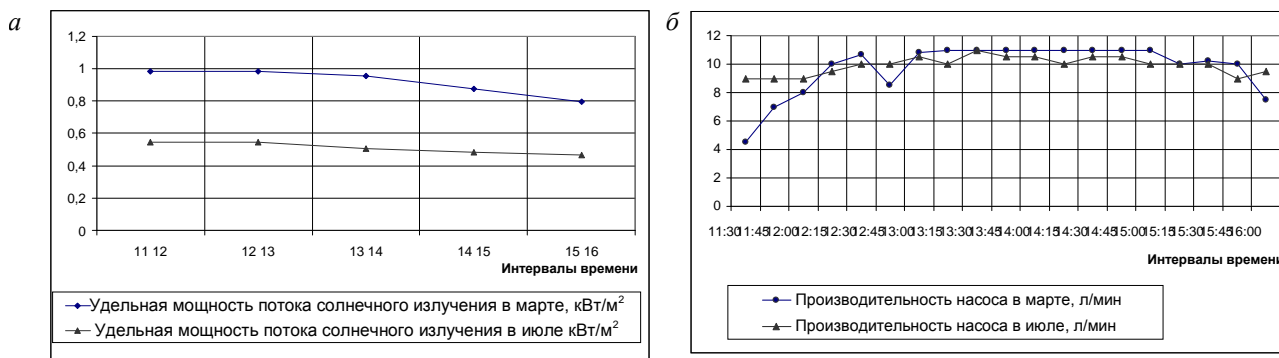


Рис. 3. Изменение производительности ЦН в зависимости от удельной мощности потока солнечного излучения:
 а – изменение удельной мощности потока солнечного излучения;
 б – изменение производительности насоса

Анализ приведенных графиков показывает, что, несмотря на разные значения удельной мощности потока солнечного излучения (рис. 3, а), производи-

тельность ЦН не превышает номинальную величину (рис. 3, б). Производительность насоса в таком случае, как видно на графике, сопоставима с производительностью в ранневесенний период. Следовательно, полученное соотношение является оптимальным в течение всего года.

В ходе проведенных исследований установлен характер изменения производительности насоса в течение дня в зависимости от поступающей солнечной энергии и соответственно мощности СМ. Подтверждено, что ранее определенное соотношение мощностей СМ и ЦН является оптимальным для круглогодичного использования автономной системы солнечного теплоснабжения.

Список литературы

1. Стребков Д. С. Матричные солнечные элементы / В 3-х т. Т. 1. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. 120 с.
2. Шерьязов С. К., Чигак А. С. К методике выбора элементов автономной системы солнечного теплоснабжения // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всерос. студенч. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 17-20 декабря 2013 г. Екатеринбург : УрФУ, 2013. С. 425–428.
3. Шерьязов С. К., Чигак А. С. Повышение эффективности автономной системы солнечного теплоснабжения // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 9-й междунар. науч.-техн. конф. В 5 ч. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. С. 128–133.

УДК 620.98

Шаврин К. В.
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
shavrin@ikada.ru

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ И ВЕТРОГЕНЕРАТОР КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЗАГОРОДНОГО ДОМА

Потребность в электроэнергии неуклонно возрастает. Ещё вчера в доме было три лампочки, телевизор и холодильник. Сегодня к этому прибавились электрочайник, микроволновая печь, стиральная машина и многое другое, а сети – те же. Для сельского жителя отключения электричества при снегопаде, ветре или грозе стали рядовыми явлениями.

По сути, солнце даёт нам почти всё: свет, тепло, углеводороды, питание. И щедрость его безгранична. Важно научиться использовать энергию Солнца как можно эффективнее.

Сейчас интерес в альтернативных так называемых возобновляемых источниках энергии возрос, несмотря на их дороговизну.

Для климатических условий России и с учетом ее положения на планете

Земля оптимальны сочетания таких альтернативных источников энергии для дома, как солнечная батарея, ветрогенератор и тепловой насос.

Владелец частного загородного дома имеет возможность перейти на полную автономность в энергоснабжении. Это можно обеспечить, используя солнечные батареи и ветрогенератор для выработки электрической энергии, а тепловой насос для отопления и горячей воды. Количество вариантов, по характеристикам мощности каждого элемента, достаточно для того, чтобы подобрать устройства по бюджету, но с максимальной эффективностью. Бесспорно, эти вложения в частную энергетику достаточно большие и окупаются не сразу. Но в пользу таких инвестиций говорят техническая надежность современных альтернативных источников энергии (срок эксплуатации 15–25 лет), простота конструкций и общемировые тенденции роста стоимости энергии, когда стоимость последних растет с каждым годом.

Солнечные электростанции состоят из солнечных батарей с фотоэлементами, блока аккумуляторных батарей, которые накапливают электроэнергию, контроллера заряда батарей и инвертора. Инвертор преобразует накопленный в аккумуляторах постоянный ток в переменный ток с необходимыми параметрами.

Солнечные батареи обычно устанавливаются на крыше дома. Непогода, град, вода, конденсат не страшны для батарей. При выборе места для установки солнечных батарей (модулей, панелей) необходимо помнить, что любая одинокая ветка, столб и тому подобная тень вызовет негативный эффект. Необходимо предусмотреть возможность изменять угол наклона солнечных батарей для более продуктивной работы. При увеличении угла установки до 75–80 градусов солнечные лучи в полдень почти перпендикулярны поверхности фотоэлементов, а возможность задержки снега в зимнее время минимальна.

Солнечные батареи вырабатывают только электрическую энергию. Никакого отношения к тепловой энергии они не имеют: не накапливают ее и не преобразуют. Они в равной мере эффективно работают при положительной температуре воздуха и в морозный день: для них важна только интенсивность солнечного света. Так, к примеру, солнечные батареи широко используются для получения электричества на севере страны, где немало солнечных дней в году, но при этом очень холодно, а также успешно функционируют даже в открытом космосе, вырабатывая электричество для космических кораблей и станций.

Солнечная батарея как альтернативный, нетрадиционный источник энергии оправдывает себя приблизительно за 2–3 года. Если учесть срок службы солнечной батареи, более 25 лет, то её можно назвать устройством, приближенным к вечному двигателю.

Так, солнечная батарея мощностью 95 Вт за 12 ч светового дня способна преобразовать бесплатную энергию Солнца в 1020 Вт электрической энергии. Это 12 часов работы телевизора, это два часа непрерывной работы электро-триммера, это 51 час работы энергосберегающей люминесцентной лампы мощностью 20 Вт, и т. д.

Типы солнечных батарей можно разделить на две условные категории:

Для работы. Солнечные батареи, изготовленные в России, по цене дороже и качественнее произведенных в Китае, имеют толстые фотоэлектрические элементы, которые обеспечивают выработку энергии долгие годы.

Для продажи. Проще говоря: если цена «смешная», значит, качество плохое. Китайские производители солнечных батарей стремятся увеличить толщину фольги в солнечных элементах и в фотоэлектрических панелях.

Большое значение имеет и структура поверхности стекла, на котором ламинируются фотоэлементы. Гладкое стекло отражает часть прямого солнечного излучения и большую часть рассеянного. Текстурированное, низкорелефлекторное стекло, которое собирает диффузионное излучение и не отражает прямые солнечные лучи, обеспечивает увеличение мощности входного оптического облучения на 12–15 %. Благодаря этому повышается КПД солнечных батарей, особенно в пасмурную погоду, что немаловажно в наших климатических условиях. Закаленное стекло на порядок повышает надежность конструкции солнечных батарей. Цена таких батарей на закаленном стекле выше, но это оправдано прочностью и снижением веса при равной толщине.

Еще один источник для получения электрической энергии – это ветер.

Установка ветрогенератора будет отличным дополнением энергетической сети загородного дома. Правда, установка ветряков будет экономически оправданной только в тех местностях, где среднегодовая скорость ветра составляет более 4 м/с. В северо-западном регионе эта цифра приближается к 3–4 м/с, и поэтому ветряк будет хорошим дополнением к системе, где помимо него используются солнечная батарея и тепловой насос.

Принцип действия ветряка достаточно прост. Колесо (оно может быть оснащено одной или несколькими лопастями) под воздействием ветра вращает вал ветродвигателя, подключенного к генератору, который вырабатывает электрический ток. Ток, который поступает непосредственно от генератора, достаточно низкий, поэтому напрямую его можно использовать только для простых электроприборов (например, для ламп накаливания). Для того чтобы электроэнергия, выработанная ветрогенератором, могла питать электрические приборы (телевизор, компьютер), необходимо установить систему аккумуляторных батарей и инвертор. Монтировать ветрогенератор можно со специальными растяжками на высокой мачте, а также устанавливать на крышу дома. Простота монтажа и элегантность конструкции позволяют считать данное устройство украшением участка.

При установке необходимо позаботиться о креплении, надежной молниезащите (громоотводе) со значительным подъемом, иначе ветрогенератор, являясь наивысшей заземленной точкой, привлечет разряды атмосферного электричества на себя.

Следует заметить, что отдаваемая ветрогенератором мощность имеет геометрическую прогрессию. Так, при увеличении скорости ветра в два раза генерируемая мощность возрастает в 6–8 раз.

В отличие от обычных электростанций такой способ получения энергии не вредит окружающей среде и является безопасным для здоровья человека.

Цена такого источника энергии варьируется, начиная от 40 тыс. руб. за комплект оборудования, в зависимости от потребности и наличия необходимых средств. Даже при скромном потреблении энергии годовая экономия на оплате электроэнергии составит до 12 тыс. руб. в год. Из этого следует, что установка с минимальной стоимостью может окупить себя за 3–4 года.

Никто не знает, когда наступит время энергетического кризиса. Лучше уже сейчас начать оборудовать свои дома независимыми системами энерго-снабжения, для которых можно использовать возобновляемые источники энергии.

Список литературы

1. Куашнинг Ф. Системы возобновляемых источников энергии: технология – расчеты – моделирование: учебник: пер. с нем. яз. Астана : Фолиант, 2013. 429 с.
2. Альтернативные источники энергии для дома [Электронный ресурс]. URL: <http://energystock.ru/> (дата обращения: 28.10.2014).
3. Солнечные электростанции [Электронный ресурс]. URL: <http://solnechnie-electrostancii.ru/> (дата обращения: 28.10.2014).

УДК 620.97

Шакирова А. А., Рахматуллин Р. Р.
Альметьевский государственный нефтяной институт,
teplotex AGNI@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОТУРБИН В ЭНЕРГЕТИКЕ

Микротурбины – это относительно новое оборудование, применяемое в электроэнергетике. Микротурбина представляет собой небольшое модульное устройство, производящее электроэнергию и тепло, работающее на газообразном и жидком топливе. Это устройство работает почти бесшумно и отлично переносит любые нагрузки от нулевой до максимальной. Микротурбина проста в управлении и может быть дистанционной, поэтому не требует привлечения персонала.

Несмотря на свою компактность и простоту в эксплуатации, газовая микротурбина может выступать как полноценный автономный источник энергии, способный полноценно обеспечить теплом и электроэнергией частные отдельно стоящие объекты.

Преимущества микротурбин:

- эластичность и адаптивность к восприятию электрических нагрузок в диапазоне от 1 до 100 %;
- возможность длительной работы микротурбины на предельно низкой мощности – 1 %;

- низкий уровень эмиссий;
- отсутствие дымовых труб;
- отсутствие в микротурбинах моторного масла, смазки;
- отсутствие охлаждающих жидкостей;
- быстрое и технологичное подключение к топливным магистралям, электрическим коммуникациям и тепловым сетям;
- сервисное обслуживание микротурбины – 1 день, 1 раз в году;
- низкий уровень шума;
- предельно малый уровень вибраций микротурбины;
- система дистанционного контроля;
- компактные размеры микротурбины;
- возможность размещения микротурбинной электростанции на крышах зданий;
- высокое качество производимой электроэнергии ввиду наличия инвертора;
- комбинированное производство электроэнергии и тепла (когенерация).

Широкому распространению микротурбин в последние годы способствовал ввод новых нормативов в нефтегазовой отрасли, предусматривающих повышение уровня утилизации попутного нефтяного газа, а также новые требования по повышению энергоэффективности в сфере ЖКХ, обязывающие внедрять когенерационные установки при реконструкции котельных и мини-ТЭЦ.

ОАО «Татнефть» приняла программу по внедрению микротурбинных энергоустановок, работающих на попутном нефтяном газе. Особенностью этих микротурбин является компоновка основных узлов агрегата, где в компактном корпусе размещены компрессор, камера сгорания, рекуператор, непосредственно турбина и постоянные магниты электрогенератора. Генератор охлаждается набегающим потоком воздуха, что исключает необходимость организации системы жидкостного охлаждения и повышает надежность и экономичность оборудования в процессе эксплуатации.

Так как микротурбины способны устойчиво работать на газе с переменным компонентным составом, различной теплотворной способностью и содержанием сероводорода до 7 %, попутный газ будет поступать в энергоустановки сразу после сепаратора. Такое решение позволило избежать дополнительных расходов на строительство и последующее обслуживание дорогостоящей системы предварительной газоочистки, которая потребовалась бы для газопоршневой электростанции. Использование бросового сырья и низкие эксплуатационные затраты на микротурбины делают себестоимость электроэнергии в 3 раза ниже по сравнению с тарифами для централизованной сети.

Несмотря на то, что микротурбины как технология появились значительно позднее, чем другие виды энергогенерирующего оборудования, они уже успели зарекомендовать себя в качестве надежного и эффективного источника энергии, полностью подтвердив заявленные характеристики.

О РОЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТОМ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЭС

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) входят в систему организационно-технических мер по обеспечению безопасности, надежности оборудования и систем, подлежащих последовательной реализации на всех этапах жизненного цикла АЭС.

В основу управления техническим состоянием оборудования отечественных атомных станций (АС) положена стратегия планового регламентированного ремонта, которая предписывает выполнение планового ремонта с периодичностью и в объеме, установленном в эксплуатационной документации, независимо от технического состояния оборудования в момент начала ремонта.

Рыночные условия для обеспечения конкурентоспособности требуют от генерирующих компаний, в том числе эксплуатирующих АС, значительного сокращения финансовых затрат. Оптимизация процесса проведения плановых ремонтов содержит в себе большой потенциал повышения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) энергоблоков и снижения эксплуатационных затрат при проведении ремонтных работ. Нормативы времени на проведение ремонтов на АЭС постоянно ужесточаются (рис. 1).

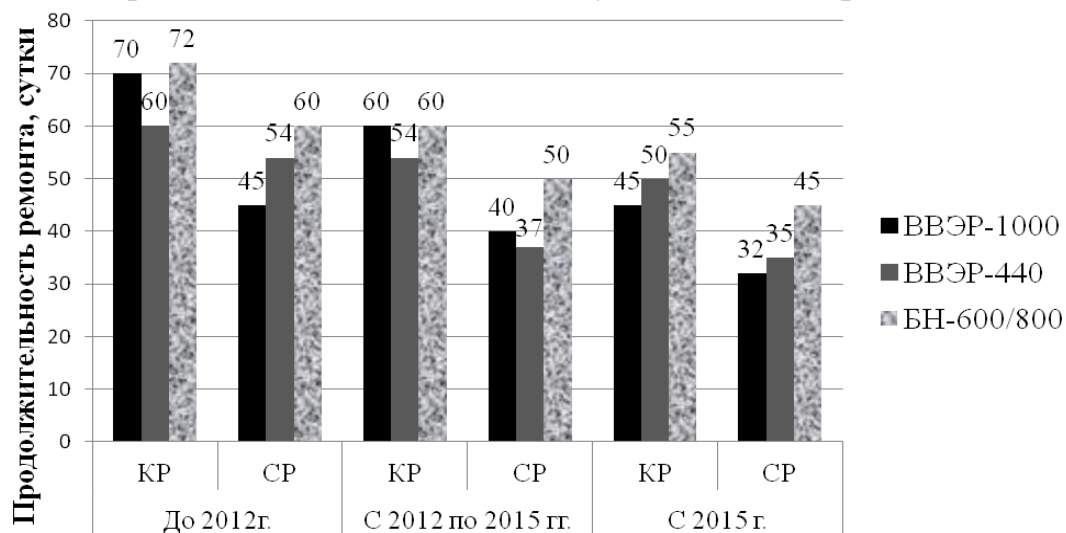


Рис. 1. Нормативы времени на ремонт энергоблоков АЭС

Сокращения продолжительности ТОиР и затрат можно добиться совершенствованием планирования, организации, управления работами, эксплуатационных и вспомогательных средств, а также внедрением логистики и мотивации персонала.

Производство ремонтов на электростанциях представляет собой сложную и ответственную задачу, так как в работах принимает участие значительное ко-

личество специалистов не только АС, но и подрядных организаций. При этом необходимо увязать работу всех звеньев, следить за работой и обеспечением всех бригад материалами и запасными частями, инструментами и др. Все работники выполняют множество операций, между которыми есть связи. При осуществлении таких ремонтов традиционные методы управления малоприспособлены и малоэффективны, поэтому применяются сетевые модели (сетевые графики ремонтов). График позволяет четко отобразить структуру комплекса ремонтных работ и их взаимосвязь, осуществить прогнозирование работ, определяющих окончание всего комплекса, и сконцентрировать внимание на их выполнении. Этот вариант очень сложен и требует большого и тщательного планирования по времени, поэтому с появлением компьютерных программ по планированию работ сетевая модель планирования используется крайне редко.

Мировой опыт показывает, что компьютеризированные системы информационной поддержки управления техническим обслуживанием ТООиР оборудования являются одним из наиболее эффективных средств повышения КИУМ и сокращения всех видов затрат на обеспечение работоспособности оборудования в течение жизненного цикла АС – естественно, при безусловном выполнении требований к их безопасности.

Положительный эффект от внедрения информационной системы поддержки управления ТООиР оборудования состоит:

- в повышении эксплуатационной готовности оборудования (позволяет сократить потери из-за простоев);
- увеличении производительности труда ремонтного персонала (позволяет рационально перераспределить персонал по ремонтным бригадам);
- уменьшении сверхурочных работ посредством правильного планирования и прогнозирования хода работ;
- сокращении объемов неплановых работ, используемых материальных ресурсов, сверхнормативных запасов (за счет рационализации планирования потребности в ресурсах и контроля за их расходом);
- уменьшении случаев нехватки запасов;
- сокращении срочных закупок.

В России системы информационной поддержки управления ТО и ремонтом (ИСУ ТООиР) АЭС начали создаваться с 2002 г. Основной целью создания ИСУ ТООиР является информационная поддержка руководителей и ведущих специалистов по ремонту на уровне департаментов и дирекций АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом» при планировании, подготовке и проведении ТООиР систем и оборудования АЭС.

В качестве базовых программных средств ИСУ ТООиР приняты:

- программное обеспечение ERP-системы SAP R/3 (управления предприятием) как программно-методического инструментария для формирования модулей ИСУ ТООиР на уровне АЭС, интеграции их в информационные подсистемы на верхнем уровне концерна «Росэнергоатом»;
- программное обеспечение системы управления проектом (СУП) Primavera Enterprise Suite – P3e, предназначенной для управления ремонтной кампанией концерна как проектом, включая решение задач календарно-

сетевого планирования ремонта и оперативного управления им, анализа хода ремонта на АЭС.

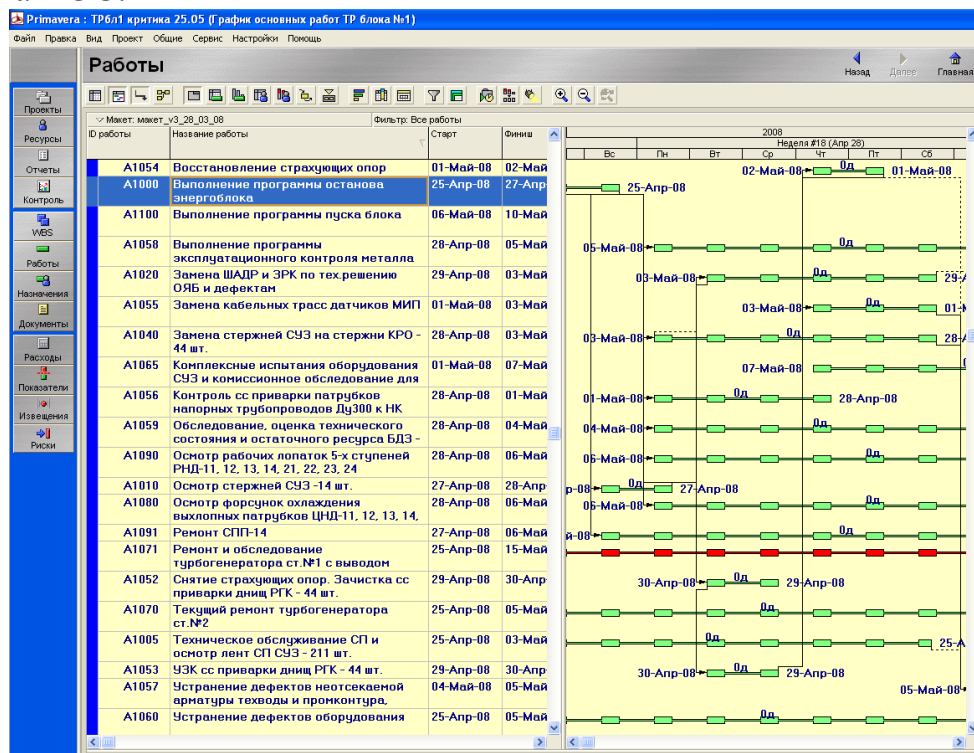


Рис. 2. График текущего ремонта блока АЭС с работами на критическом пути, введенными непосредственно в СУП Primavera

Внедрение информационных систем позволяет на 10–15 % повысить КИ-УМ энергоблока, на 20 % и более снизить затраты материальных и финансовых ресурсов на ремонт.

Однако существует значительный потенциал в совершенствовании планирования ТОиР и сокращении перепростоев в ремонте блоков АЭС. Как показывает анализ отчетов о расследовании нарушений в работе АЭС, около 50 % коренных причин находятся в области «недостатка управления и организации эксплуатации АЭС». При этом значительный вклад вносят недостатки планирования ТОиР.

УДК 662.767.2

Шерстнев В. И., Бородихина Е. В., Мифтахутдинов И. Д., Токманцев Д. В.
Уральский государственный горный университет,
albert3179@mail.ru

БИОГАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – БУДУЩЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Биогаз – вещество, которое получается путем метанового брожения биомассы. Процесс разложения биомассы протекает под воздействием трех разных бактерий. Разложение идет по цепочке, и в результате следующие бактерии по-

требляют продукты жизнедеятельности предыдущих. Самые первые бактерии, участвующие в процессе, гидролизные, вторые – кислотообразующие, а третьи – метанообразующие. При производстве биогаза задействуются не только бактерии – метаногены, но и остальные два вида. Его основные компоненты: метан (CH_4) – 55–70 % и углекислый газ (CO_2) – 28–43 %, а также в очень малых количествах другие газы, например – сероводород (H_2S). Однако после очистки биогаза от CO_2 и сероводорода (H_2S) получается биометан, который является полным аналогом природного газа и может закачиваться в газопровод.

Поскольку разложение органических отходов происходит за счет деятельности определенных типов бактерий, существенное влияние на него оказывает окружающая среда. Так, количество вырабатываемого газа в значительной степени зависит от температуры: чем теплее, тем выше скорость и степень ферментации органического сырья. Существуют определенные требования и к сырью: оно должно быть подходящим для развития бактерий, содержать биологически разлагающееся органическое вещество и в большом количестве воду (90–94 %). Желательно, чтобы среда была нейтральной и без веществ, мешающих действию бактерий: например, мыла, стиральных порошков, антибиотиков.

Принципиальным является то, что чем меньше частички субстрата, тем лучше. Чем больше площадь взаимодействия для бактерий и чем более волокнистый субстрат, тем легче и быстрее бактериям разлагать субстрат. Кроме того, его проще перемешивать, смешивать и подогревать без образования плавающей корки или осадка. Длительность периода брожения измельченного сырья влияет на количество произведенного газа. Чем короче период брожения, тем лучше должен быть измельчен материал. При достаточно длительном периоде брожения количество выработанного газа увеличится. При использовании измельченного зерна этого уже удалось достичь через 15 дней.

Сырьем для получения биогаза может служить широкий спектр органических отходов – твердые и жидкие отходы агропромышленного комплекса, сточные воды, твердые бытовые отходы, отходы лесопромышленного комплекса. Количество получаемого биогаза на выходе напрямую зависит от вида сырья и содержания сухого вещества. Так, из тонны навоза скота можно получить от 30 до 50 м³ биогаза, в котором метана 60 %. Из разных видов растений можно получать от 150 до 500 м³ биогаза, в котором метана до 70 %. Больше всего биогаза (около 1300 м³) с метаном до 87 % выделяется из жира.

86 % биогазового потенциала содержится в сельскохозяйственном сырье и лишь 8 % в промышленных и коммунальных отходах.

Теплота сгорания биогаза напрямую зависит от содержания в нем метана. В среднем данная величина составляет 6,0 кВт·ч/м³. Результаты исследований, направленные на сравнение биогаза с другими горючими газами, показали, что обычный домашний биогаз имеет немного более низкую теплоту сгорания в сравнении с пропаном, что обуславливается его объемом, однако эта температура в два раза выше, чем у водорода.

При плотности 1,2 кг/м³ биогаз несколько легче воздуха. Этот факт очень важен, поскольку, по этой причине, вытекающий биогаз не собирается у пола

или в углублениях, как более тяжелый пропан. При утечке он быстро смешивается с воздухом, благодаря чему уменьшается вероятность взрыва. Но данный факт не должен стать причиной халатного обращения с биогазом! Также температура возгорания в 700 °С является достаточно высокой, а это также является ощутимым преимуществом со стороны безопасности в эксплуатации.

В силу присутствия в биогазе CO_2 он имеет довольно узкие пределы зажигания. В сравнении с ним водород и пропан имеют более широкие пределы воспламенения, а значит – они более опасны.

Биогаз часто используется для получения тепла и электроэнергии. Также в небольшом объеме биогаз используется в некоторых странах, например, в Швеции, в качестве топлива для транспорта (в основном для общественного).

Рынок биогаза на сегодняшний момент наиболее развит в странах ОЭСР, это объясняется тем, что именно развитые страны первыми внедрили программы перехода к альтернативным источникам энергии и планомерно поддерживали инициативы, направленные на внедрение новых технологий.

Биогазовая отрасль производит не один конечный продукт, а целый спектр дорогих и важных продуктов и без ущерба экологии:

1. Тепло – от охлаждения генератора или от сжигания биогаза. Полученное тепло можно использовать для обогрева построек, приведения в действие рефрижераторных установок, получения пара и кипяченой воды для обслуживания скота.

2. Электричество – из 1 м³ биогаза можно выработать около 2 кВт·ч электроэнергии.

3. Биогаз – его можно сжимать, накапливать, перекачивать излишки, продавать. Существуют модели автомобилей, которые используют в качестве топлива газ. Эти машины могут без дополнительной адаптации заправляться биометаном. Сейчас появляются первые заправочные биогазовые станции. В Швеции и Швейцарии биометан уже долгое время используется в городских автобусах (Volvo, Skania) и грузовых машинах.

4. Удобрения – получают в виде переброженной массы, являются экологически чистыми, жидкими и твердыми удобрениями, лишенными нитритов, семян сорняков, болезнетворной микрофлоры, специфических запахов. Расход таких удобрений составляет 1–5 т вместо 60 т необработанного навоза для обработки 1 га земли. В полученное удобрение могут добавляться фосфорные, калийные или другие удобрения, в зависимости от культур, под которые будут использоваться удобрения. Испытания показывают увеличение урожайности в 2–4 раза.

5. Утилизация органических отходов – биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах, что повышает санитарно-гигиеническое состояние этих предприятий.

Решение экологических проблем – производство биогаза позволяет предотвратить выбросы метана в атмосферу, снизить применение химических удобрений, сократить нагрузку на грунтовые воды.

Ежегодно в России образуется до 300 млн т сухих органических отходов. Из них 250 млн т в сельском хозяйстве, а остальные 50 млн т как бытовой мусор. Эти цифры говорят о том, что в случае полной переработки можно получить более 90 млрд м³ биогаза.

Вот что говорит глава правления E.ON Ruhrgas Бернхард Ройтерсберг (Bernhard Reutersberg): «Биогаз – это одновременно гарантия снабжения, эффективность использования и защита климата, поэтому он является частью нашей ориентированной в будущее стратегии энергообеспечения».

УДК 662.7

Шерстнев В. И., Обухова А. А., Токманцев Д. В., Бородихина Е. В.
Уральский государственный горный университет,
albert3179@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИОТОПЛИВА

Водоросли как энергетическая растительность представляются сегодня в мире очень перспективным возобновляемым сырьем для производства биотоплива. В малой энергетике весьма эффективными объектами полезного использования водорослевых топлив могут стать различные тепловые поршневые электростанции.

Биотопливо, являясь возобновляемым энергоносителем, должно составлять все большую и большую конкуренцию традиционным исчерпаемым природным энергетическим богатствам, таким как нефть и природный газ. Сегодня специалистами в области биоэнергетики рассматриваются два определенно возможных направления энергетического использования водорослей: прямое сжигание водорослевой биомассы и ее переработка в жидкое моторное топливо – биодизель. Оба направления принципиально актуальны в малой тепловой энергетике, только первое – для реализации в водогрейных котельных и мини-ТЭЦ на базе паровых котельных, а второе – все же больше для тепловых поршневых мини-электростанций с дизельными двигателями.

Отличительная особенность водорослей, если сравнивать с сырьем для биотоплив первого и второго поколений, проявляется и в том, что их разведение может быть организовано в водоемах, как незадействованных, так и используемых для нужд сельского или рыбного хозяйства, либо в специальных фотобиореакторах, то есть установках, где создаются и поддерживаются благоприятные условия выращивания водорослей. Кроме этого, водорослевая растительность поглощает при своем росте в процессе фотосинтеза, помимо солнечных лучей, еще и углекислый газ, что улучшает экологическую обстановку в прилегающих к водоему зонах. Масляный и жировой составы водорослей по структуре молекул не отличаются от тех, что у нефти.

Высокая эффективность фотосинтеза у водорослей обусловлена их малыми размерами. Это приводит к увеличению производства биомассы по сравнению с сельскохозяйственными культурами, такими как пальмовое масло, рапс, соя и кукуруза. Они содержат гораздо больше масел в сухом весе, чем используемые в настоящее время сельскохозяйственные растения. У некоторых водорослей сухой вес более чем на 50 % состоит из извлекаемых масел, что в два с лишним раза превосходит содержание масла в масличных пальмах.

Водоросли имеют относительно простые требования для произрастания, и они хорошо себя чувствуют в бедной по минеральному составу среде. Водорослям нужна только вода, солнечный свет и углекислый газ, и значительно меньше азота, чем сельскохозяйственным растениям. Метаболически они очень универсальны. Некоторые водоросли могут расти не только в фототрофных условиях (т. е. в присутствии света и углекислого газа в качестве источника углерода), но и при гетеротрофных условиях (т. е. при отсутствии света, но при наличии глюкозы и других органических молекул в качестве сырья). Гетеротрофное выращивание водорослей с использованием сахара как источника углерода приводит к значительно большему содержанию масел в водорослях по сравнению с водорослями, выращенными в фототрофных условиях. Однако, использование глюкозы (сахаров) для гетеротрофного роста водорослей и добычи масла является дорогостоящим и конкурирует с рынком продуктов питания. Это затрудняет экономически успешное использование способа.

УДК 620.9

Шестакова В. В., Кирпичникова И. М.
Южно-Уральский государственный университет,
admin@susu.ac.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ

Обращение человечества к нетрадиционным источникам энергии не только своевременно, но и имеет под собой очень серьезное основание. XXI век – век поиска путей решения энергетической проблемы, в том числе за счет энергосбережения и использования альтернативных источников энергии. Рассмотрим человека как источник энергии. В университете в течение дня студенты и преподаватели перемещаются из помещения в помещение, одни покидают пределы учреждения, другие приходят. При этом, входя в помещение, человек открывает перед собой дверь – одну или несколько. В учреждениях с большой проходимостью двери в течение дня постоянно открываются и закрываются. Этот факт может быть выгоден самому учебному заведению.

Мы знаем, что при открывании и закрывании двери совершаются колебательные движения. Эти движения можно преобразовать в электрические сигналы при помощи генератора – даже при незначительном механическом воздей-

ствии на него вырабатывается определенное количество энергии. Но этого количества недостаточно для питания каких-либо электроприборов. Поэтому выработанную энергию необходимо накопить для использования в практических целях. Так, движения, которые совершает человек, открывая и закрывая дверь, можно использовать. Такой способ получения энергии, благодаря альтернативному источнику – человеку, несомненно, представляет интерес, так как он выгоден в использовании и исключает риск причинения вреда экологии. При этом человек является лишь источником первичной (механической) энергии. Дверь в данном случае играет роль передаточного звена от человека к устройству (генератору), преобразующему выработанную человеком механическую энергию в электрическую.

Материалом для нашего устройства мы выбрали текстолит – он прочен, способен выдержать нагрузку при открывании и закрывании двери большим количеством людей, а также является диэлектриком. Мы собрали прямоугольный корпус для нашего прибора из текстолитовых пластин, параллельно друг другу на пластину из органического стекла прикрепили две перегородки из текстолита, между ними на металлических шпильках смонтировали зубчатый рычаг, шестеренку. Затем вставили конструкцию в специально подготовленное отверстие в профиле дверного проема. Для упрощения монтажа-демонтажа генератора соединения проводов произвели на распределительном блоке. В практическом применении распределительный блок можно убрать в специально подготовленное отверстие в профиле дверного проема. Провода, соединяющие генератор и аккумулятор, пропустили внутри профиля и вывели их в профили двери. Так как используется пластиковая дверь, аккумулятор (аккумуляторы) вмонтировали в полости между стенками двери. Внутри генератора расположена неподвижная магнитная система с постоянным магнитом, которая образует два воздушных зазора с противоположными направлениями вектора магнитной индукции. Между полюсами постоянного магнита расположен ротор, обычно это открытая проволочная катушка. Ротор вращается в магнитном поле, благодаря чему в обмотке возникает электрический ток. За счёт инерционных свойств массы искусственно создается неподвижная в пространстве точка. Относительно этой неподвижной точки, с которой связана рабочая катушка, происходит перемещение постоянного магнита и в рабочей катушке наводится ЭДС (электродвижущая сила). ЭДС, возникающая в замкнутом проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром.

Зная, что и движение контура в магнитном поле, и изменение самого магнитного поля может являться причиной изменения магнитного потока, в нашем приборе неподвижной частью сделали проволочную катушку, а магнит вращается вокруг нее. От проволочной катушки генератора выходят два провода: один провод подключен к аккумуляторной батарее (ВК) с номинальным током 1,3 А и рабочим напряжением 6 В и далее на « – » светодиода, а другой провод подключен к первому контакту выключателя (К). Выключатель имеет три контакта: средний подключен к клемме аккумулятора со знаком « + » и два край-

них (назовем их первый и второй). Принцип работы выключателя в том, что он одновременно замыкает центральный контакт только с одним из двух крайних. Далее, ко второму контакту выключателя последовательно подключен диод DV1 2 В, резистор $R = 48 \text{ Ом}$ и «+» светодиода. При одном обороте вращения магнита вырабатывается ток в 1 мА и напряжение до 1,5 В. В нашем приборе установлено два генератора, один срабатывает, когда дверь открывается и пружина внутри прибора освобождается, второй срабатывает при сжатии пружины, когда дверь закрывается.

Возникает необходимость запастись энергией. Для этого больше всего подходят специальные аккумуляторные батареи, спроектированные для использования в системах автономного электроснабжения. На сегодняшний день достижения науки позволяют увеличить емкость и уменьшить габариты аккумуляторов. В данном устройстве мы используем необслуживаемую аккумуляторную батарею (нет эффекта памяти). Технология герметизации обеспечивает безопасную и эффективную эксплуатацию батареи в любом помещении. Но каждая батарея имеет свой срок службы. Соответственно возникает вопрос утилизации батарей. На сегодняшний день, с учетом финансового кризиса, утилизация аккумуляторных батарей – еще один стимул. Зачем выбрасывать старые аккумуляторы на улицу, если их можно сдавать на утилизацию в организации, имеющие лицензию на право заниматься этим видом деятельности. Заводы по утилизации располагаются в разных областях нашей страны и предлагают разные условия для сотрудничества. Утилизация – это трудоемкий, но оправданный процесс, благодаря которому снижается стоимость аккумуляторов, выходящих на базу сырья после вторичной переработки. При этом предупреждается загрязнение окружающей среды от выброшенных на свалку старых аккумуляторов, что повышает уровень экологической безопасности для населения и окружающего пространства.

Так, на примере ЮУрГУ установлено, что открывание-закрывание двери основного входа учреждения потенциально является источником энергии. Периодические движения можно преобразовать в электрические сигналы. Преобразование механической энергии движения в электроэнергию производится с помощью электрического генератора, встроенного в дверной проем. Расчет выработки электроэнергии разработанным устройством показал целесообразность его использования в практических целях. Разработанное устройство характеризуется экологичностью, так как снижение потребления электроэнергии снижает выбросы парниковых газов.

Разработанное устройство исследовано на одном объекте (двери) университета. Учитывая общее количество дверей, можно оценить перспективу использования подобных устройств как в самом вузе, так и в других образовательных учреждениях города с точки зрения внедрения энергосберегающих технологий в социальной сфере. Это также позволит получить значительную экономию в рамках города, области и страны в целом.

Список литературы

1. Бут Д. А. Накопители энергии. М. : Энергоатомиздат, 1991. 400 с.

2. Иванов Б. С. Человек и среда обитания : учебное пособие. М. : МГИУ, 1999.
3. Фролов К. В. Вибрации в технике : справочник. М. : Просвещение, 1995. 456 с.
4. Лихачев В. Л. Электротехника : справочник. Т. 1. М. : СОЛОН-Пресс, 2003.

УДК 621.548

Шутов А. Д., Попов А. И.
Уральский федеральный университет,
Andrew_Shutoff@mail.ru, cveporov@rambler.ru

ВЭУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА МАГНУСА

На сегодняшний день дальнейшее развитие ветроустановок с горизонтальной осью вращения практически остановилось. Это обусловлено тем, что для получения мегаваттных мощностей необходимо увеличивать ометаемую площадь, а значит, увеличивать размер лопастей. Это, в свою очередь, ведёт к необходимости увеличивать и размеры башни, таким образом, стоимость ветроустановки возрастает в кубической зависимости. Кроме того, существующие в настоящее время и широко используемые в мире лопастные ветрогенераторы неустойчиво и неэффективно работают при малых скоростях ветра, которые характерны для основной площади континентальной части Земли. Поэтому следует обратить внимание на ветроустановки, использующие эффект Магнуса, основные преимущества которых проявляются при низких, но наиболее часто повторяющихся скоростях ветра 2–6 м/с.

При поперечном обтекании вращающегося цилиндра на него действуют подъемная сила, а также силы сопротивления поступательному движению и вращению. Наиболее значительной из них является сила Магнуса, которая направлена по нормали к набегающему потоку и к оси цилиндра. При оптимальных условиях обтекания цилиндра она на порядок и более превосходит подъемную силу лопасти, что позволяет использовать ее для вращения ветроколеса. Силы сопротивления тоже играют существенную роль, определяя его быстроходность и затраты мощности на вращение цилиндров.

В Республике Беларусь (фирма “Аэролла” совместно с коллективом сотрудников РАН Беларуси) создана опытная ветроустановка роторного типа с использованием эффекта Магнуса мощностью 100 кВт, которая была смонтирована вблизи окружной дороги г. Минска.

Проведенный ранее ООО «Аэролла» НИР по данному направлению показал, что КПД (коэффициент использования) такой турбины удастся повысить в 2–3 раза относительно лопастных.

К сожалению, место расположения ВЭУ на площадке, где она была изготовлена, было выбрано неудачно из-за относительно низкого диапазона скорости ветра в этом месте. Тем не менее, испытания этой установки показали удовлетворительные результаты (см. рис. 1).

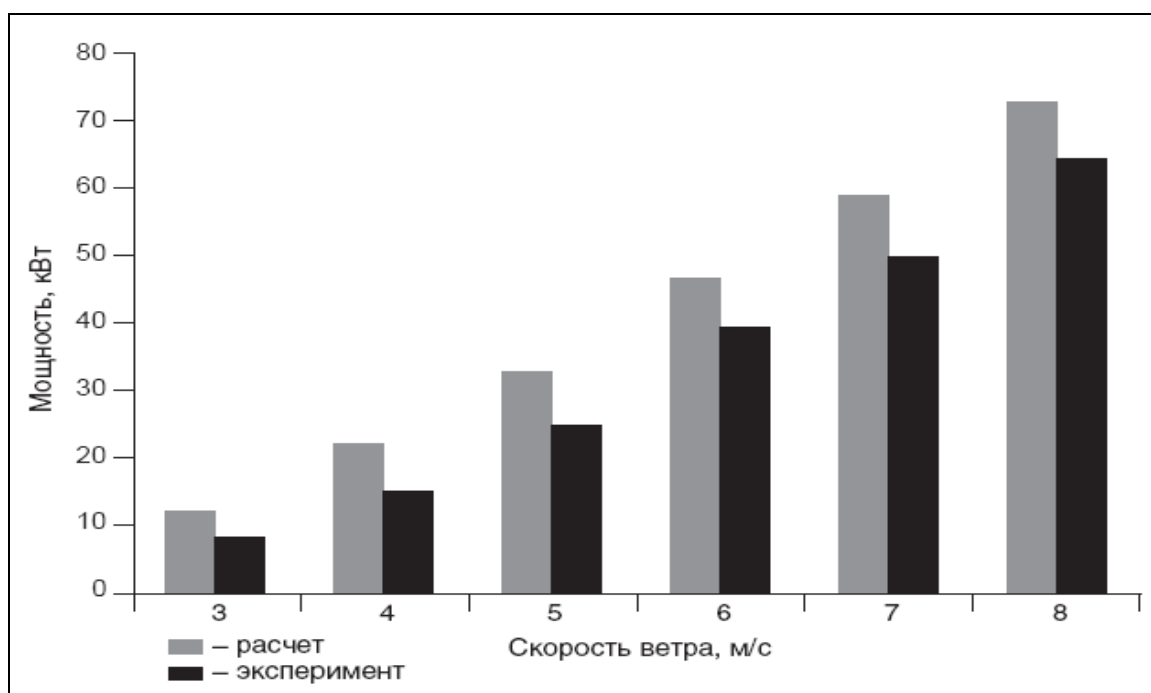


Рис. 1. Результаты испытаний ВЭУ фирмы «Аэролла»

С одной стороны, роторные установки такого типа обладают высокой эффективностью (в случае применения устройств, повышающих подъемную силу Магнуса), менее требовательны к направлению ветра чем наиболее распространенные крыльчатые ветроустановки. В то же время использование роторных ветроустановок повышает расход материалов, значительно более сложная конструкция может свести на нет все выгоды от высокой эффективности (осуществление форм без подвижных частей много проще), роторная конструкция склонна к автоколебательным процессам, снижающим срок службы роторов. Поэтому нужно отметить, что, применяя вращающиеся цилиндры, нельзя существенно сэкономить на площади аэропланнх крыльев, ветряных мельниц и пр., так как пределы мощности этих частей в значительной мере зависят от количества воздуха, захватываемого в единицу времени. Это количество определяется, однако, площадью крыльев. С другой стороны, хорошие формы подъемных крыльев испытывают в направлении движения меньшее сопротивление. Таким образом, будущее ветроустановок, использующих эффект Магнуса, будет зависеть от соотношения: выигрыш в эффективности – сложность конструкции.

Наличие недостатков, присущих ветроустановкам с горизонтальной осью вращения ветроколеса, использующих эффект Магнуса, в основном, объясняется следующими обстоятельствами.

Сила Магнуса Y в общем виде выражается формулой:

$$Y = \rho \cdot V \tilde{A} L,$$

где ρ – плотность среды, V – скорость набегающего потока, \tilde{A} – циркуляция, создаваемая вращением цилиндра, L – длина цилиндра.

Циркуляция для реального, отрывного обтекания описывается следующим образом:

$$\tilde{A} = K_{\tilde{A}}(2\pi R^2 \cdot \omega),$$

где $K_{\tilde{A}}$ – коэффициент, учитывающий влияние отрыва потока (при безотрывном обтекании $K_{\tilde{A}} \leq 1$), R – радиус цилиндра, ω – частота вращения.

Таким образом, улучшение характеристик, подобных ВЭУ, возможно при безотрывном обтекании цилиндров, если учитывать их длину, диаметр, частоту вращения.

Однако увеличение геометрических размеров цилиндров, а также частоты их вращения значительно усложняет конструкцию и имеет определенные пределы для ветроустановок с горизонтальной осью вращения, использующих эффект Магнуса. Это объясняется также тем, что радиально расположенные цилиндры имеют только нижнюю опору в ступице ветроколеса около оси, что вызывает вибрации, удары и боковые усилия на изгиб, причем, чем длиннее цилиндр, тем больше проявляются эти негативные факторы.

Однако наибольший эффект силы Магнуса проявляется при относительном удлинении цилиндра более двенадцати, т. е.

$$\frac{l}{d} > 12,$$

где l – длина цилиндра, d – диаметр цилиндра.

Кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина имеет патент РФ 2526127 «Ветродвижитель с эффектом Магнуса» [1].

Задачей предлагаемого изобретения является устранение основных недостатков и повышение эффективности работы ветродвигателей данного типа.

Технические преимущества рассматриваемого изобретения следующие:

- цилиндры ветродвигателя размещены горизонтально и закреплены с двух сторон в дисках, вращающихся на неподвижной оси, закрепленной в опорах. Такая жесткая конструкция снимает ограничения по длине цилиндров, а также по количеству цилиндров, габаритам и весу устройства в целом;
- привод выполнен от одного двигателя посредством гибкой связи на шкивы цилиндров, находящиеся на наветренной стороне;
- использован экран, который закреплен на неподвижной оси, и поэтому он затеняет от потока цилиндры, находящиеся на подветренной стороне установки, что повышает ее эффективность;
- нет необходимости размещать на цилиндрах отдельно дополнительные концевые шайбы, однако для дальнейшего уменьшения индуктивного сопротивления цилиндры могут быть выполнены плавно расширяющимися по длине – от их минимального диаметра в средней части до максимального диаметра в обоих торцах.

Такое техническое решение может найти применение в ветроэнергетике, преимущественно при создании мощных ВЭУ, расположенных на возвышенностях в зоне стабильных ветров [2, 3].

Схема ветродвигателя с эффектом Магнуса приведена на рис. 2 показан вариант, когда привод выполнен для каждого цилиндра от отдельного электро-

двигателя, а на рис. 3 привод для всех цилиндров осуществлен от одного электродвигателя гибкой связью.

Ветроколесо (рис. 2) ветродвигателя выполнено в виде горизонтально расположенного барабана. На оси 1, закрепленной неподвижно в опорах, в подшипниках 2 вращаются диски 3, в которых на своих осях 4 размещены вращающиеся цилиндры 5, а их оси соединены с одним или несколькими электродвигателями 6 привода цилиндров.

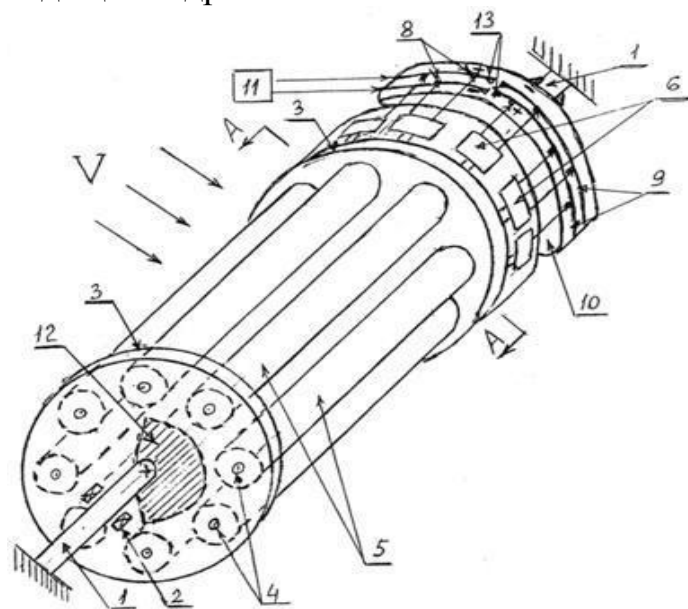


Рис. 2. Ветроколесо

Как вариант в устройстве может использоваться один электродвигатель 6 (рис. 3), передающий вращение посредством гибкой связи 7 (цепь, клиноремень и т. п.) на шкивы цилиндров 5.

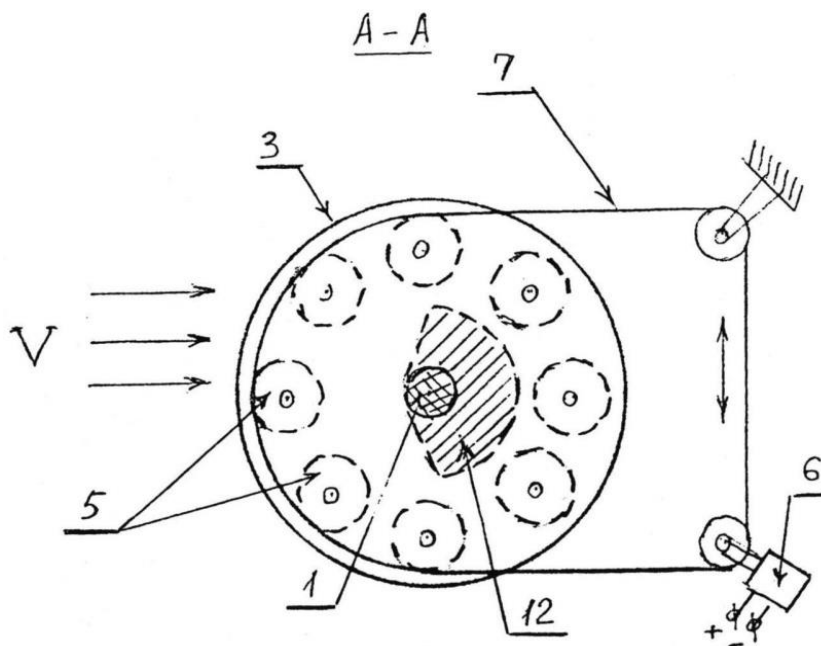


Рис. 3. Вариант привода

В другом варианте при использовании на каждом цилиндре своего электродвигателя электропитание на них подается (см. рис. 2) скользящим токосъемом 8 с кольцевых дорожек 9, расположенных на дополнительном диске 10, закрепленном на неподвижной оси, от источника питания 11. Внутри барабана между верхним и нижним положениями цилиндров размещен перпендикулярно к направлению потока экран 12, а для варианта применения устройства, когда экран не используется, кольцевые дорожки для токосъема имеют в вертикальной плоскости сверху и снизу разрывы 13 в цепи, образуя две пары полуколец на наветренной и подветренной сторонах потока, подключенные разнополярно к источнику питания. Передача вращения на генератор, а также ориентация ветродвигателя на поток ветра осуществляются любым из известных способов (не показано).

Список литературы

1. Патент 2526127 Российская Федерация, МПК F03D9/00. Ветродвигатель с эффектом Магнуса / Щеклеин С. Е., Попов А. И. № 2012145815/06; заявл. 26.10.2012; опубл. 20.08.2014. Бюл. № 13. С. 9.
2. Бычков Н. М. Ветродвигатель с эффектом Магнуса. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12. № 1.
3. Бычков Н. М., Коваленко В. М. Аэродинамические характеристики кругового цилиндра в поперечном потоке // Изв. СО АИ СССР. Сер. техн. наук. 1980. № 8, Вып. 2. С. 114–124.

УДК 662.7

Ячменева А. И.¹, Ануфриев В. П.²
Уральский федеральный университет¹,
ООО «Уральский центр энергосбережения и экологии»²,
alena.yachmenewa@yandex.ru, mail@ucee.ru

ОТХОДЫ – КАПИТАЛ СТРАНЫ

По данным доклада всемирного фонда дикой природы, в мире на сегодняшний день потребляется в 1,5 раза больше ресурсов, чем планета может воспроизвести. Если бы каждый житель мира потреблял ресурсы как средне-статистический россиянин, то потребовалось бы больше двух планет, чтобы продолжать жить, ничего не меняя в своем образе жизни [3].

В условиях исчерпаемости ресурсов все большую актуальность приобретает не только эффективное использование их природной составляющей, но и антропогенной, то есть отходов производства и потребления.

Многие страны используют отходы, участвующие в рециклинге, как дополнительные ресурсы. Например, шведская модель устойчивого развития SymbioCity демонстрирует, что 95 % бытового мусора может быть использовано для получения энергии и вторсырья, 75 % всех отходов – для рециклирования [6]. При этом на опыте скандинавских стран доказано, что от переработки

отходов и использования зеленых технологий могут быть получены экономические выгоды.

Для России также важно использование отходов для получения ресурсов и сокращения массы мусора и загрязняющих веществ.

Целью работы явилось обоснование неизбежности рассмотрения отходов производства и потребления как капитала России в случае их использования для получения вторичных ресурсов.

Проблема переработки отходов производства и потребления актуальна как для мира, так и для России. В стране общий объем неутилизованных отходов оценивается в 82 млрд т, за период 2005-2010 гг. объемы образования отходов возросли в 1,5 раза [2].

В России разрабатываются технологии получения ресурсов и товарной продукции для конкретных свалок или так называемых техногенных месторождений, которые могут приносить доход и окупаются в короткие сроки. Примером может служить разработанное технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта «Опытно-промышленное предприятие по комплексной переработке илов пруда-отстойника отработанного Дегтярского медного рудника с получением товарной продукции» ООО НПК «Экология» [5]. Согласно данному проекту в илах пруда-отстойника содержится медь (10650 т), цинк (39050 т), железо (142000 т), из которых возможно получение соответствующих концентратов, используемых на металлургических предприятиях Урала. Рентабельность данного предприятия составляет порядка 51 %, а срок окупаемости 2 года.

По оценкам специалистов, суммарная ценность металлов, накопленных в горно-промышленных отходах России, в 4 раза больше стоимости известных запасов их в недрах. Только недоизвлеченной меди на Урале, который с давних пор считается горно-рудной и металлургической базой страны, содержится 2 млн. т в техногенных ресурсах [1]. Однако данные запасы не используются, и металлургические предприятия Урала завозят сырье, что увеличивает издержки производства и соответственно снижает конкурентоспособность производителей.

Некоторые собственные мысли на эту тему

Россия – богатая страна. И ее богатство составляют не только природные ресурсы, но и скопившиеся за многие годы полигоны и свалки мусора, загрязненные воды и воздух. Однако не стоит рассматривать данные факты лишь как накопленный экологический ущерб окружающей среде. При правильном использовании эта проблема может стать сильной стороной страны – как в проекте ООО НПК «Экология» пруд-отстойник назван техногенным месторождением, которое придет на смену отработанным природным.

Капитал – в широком смысле – это все, что способно приносить доход, или ресурсы, созданные людьми для производства товаров и услуг [4]. По нашему мнению, отходы производства и потребления могут стать дополнительным капиталом страны, если вовлекать их в кругооборот «производства-

потребления», и в будущем занять равнозначное место для экономики страны с природным капиталом.

В целях доказательства возможности и необходимости рассмотрения отходов производства и потребления в качестве дополнительного капитала страны наравне с человеческим, материально-финансовым, а главное – природным капиталом, предлагается проведение исследования рентабельности, сроков окупаемости нескольких существующих технологий получения ресурсов и товарной продукции на полигонах ТБО, в сточных водах и т. д.

Также имеет смысл сравнение положительного и отрицательного социального и экологического эффектов при добыче полезных ископаемых из недр земли и на техногенных месторождениях.

На основании полученных данных следует сделать вывод о затратах и выгодах получения ресурсов двумя способами и о возможности приравнивания антропогенного капитала к природному.

Следует доказать экономическую важность рассмотрения отходов производства и потребления как богатства страны и необходимость в разработке этого вида капитала.

Список литературы

1. Мелентьев Г. Б., Малинина Е. Н., Овчарова Е. С. Перспективы организации комплексного извлечения цветных, рассеянных редких и благородных металлов из нетрадиционного природного и техногенного сульфидного сырья Урала // Экология промышленного производства. 2007. № 3. С. 41–51.
2. Навстречу «зеленой» экономике России (обзор) / Институт устойчивого развития общественной палаты Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: http://www.sustainabledevelopment.ru/upload/File/Reports/ISD_UNEP_GE_Rus.pdf (дата обращения: 24.11.2014)
3. Новый выпуск доклада WWF «живая природа» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wwf.ru/resources/news/article/12820> (дата обращения: 24.11.2014)
4. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2011. 512 с.
5. Техничко-экономическое обоснование инвестиционного проекта «Опытно-промышленное предприятие по комплексной переработке илов пруда-отстойника отработанного Дегтярского медного рудника с получением товарной продукции» / ООО НПК «Экология». Екатеринбург, 2013.
6. Simbiocity – шведская модель устойчивого развития // Сайт Зеленый город / Национальное Агентство устойчивого развития, 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://green-city.su/symbiocity-shvedskaya-model-ustojchivogo-razvitiya/> (дата обращения: 24.11.2014).

СОДЕРЖАНИЕ

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Абдуллаев Ж. О., Назаров С. Л., Коняев А. Ю.	
Исследования электродинамических сепараторов с линейным индуктором при повышенных частотах питания.....	5
Альбаева И. И., Власова С. Г.	
Возможность использования сырьевых материалов Уральского региона в стекольном производстве с применением обесцвечивателей.....	8
Багин Д. Н., Обвинцева Е. Ю., Якушев Н. С., Коняев А. Ю.	
Повышение эффективности переработки электронного лома.....	10
Багин Д. Н., Макаров А. В., Коняев И. А.	
Индукционная сортировка лома цветных металлов при подготовке к металлургическому переделу.....	13
Баяндина М. А.	
Ресурсосберегающая технология производства высокоглиноземистых огнеупоров.....	16
Белозеров А. С. Пирумян Н. М. Мехатронные системы.....	
	18
Богомолова А. Л., Афанасьева М. А., Капустин Ф. Л., Венгеров А. С.	
Использование отходов цветной металлургии в производстве цемента.....	20
Быков П. Б., Гафт Д. Е., Пирумян Н. М.	
Дискретные управляющие элементы.....	22
Вараева Е. А., Церковникова К. С., Аксенов В. И	
Технология выделения растворимых тяжелых металлов из сточных вод горно-рудных предприятий.....	25
Вершинина А. С., Бакрунова Т. С.	
Энергосберегающие и экологические характеристики теплона.....	28
Габдуллин А. Н., Никоненко Е. А., Вайтнер В. В., Катыхов С. Ф.	
Вскрытие серпентинита азотной кислотой.....	30
Горбич Т. А., Царев Н. С., Беляев М. А.	
Флокуляционная обработка производственных сточных вод титано-магниевого заводов.....	33
Горелов Д. А., Капустин Ф. Л.	
Влияние добавки золы-уноса на свойства гранулированного пеностекла.....	36
Гулиев Р. И. Теплоизоляционный пеностеклянный материал.....	
	38
Захарова А. А., Бирюзова Е. А.	
Современные материалы для изоляции труб.....	41
Зорин М. В., Косоголов С. А.	
Ресурсосбережение в нефтеперерабатывающей и металлургической промышленностях. Использование ДК в угольной шихте для коксования.....	43
Казанцев Д. В., Шишмаков С. Ю.	
Возможность использования очищенных сточных вод в теплоэнергетике.....	47

Калинкин М. О., Катыхов С. Ф.	
Модернизация цеха по производству оксида хрома (III).....	49
Климарева В. А., Иванов Е. М., Деулин В. А., Прахт В. А.	
Исследование свойств магнитомягких материалов.....	50
Козловских Е. Ю., Доронин А. В., Богомолова А. Л., Земляной К. Г.	
Гидрометаллургическая переработка отходов с мокрой газоочистки ферросплавных заводов.....	53
Коновалов Д. С., Белоусова О. А.	
Оценка возможности газификации бурого угля.....	56
Краснова Н. П., Мжельская О. Ю., Щелоков А. И.	
Применение энергоэффективной газонаполненной структуры для сохранения теплоты в трубопроводе.....	58
Кривова С. Д., Кошкина О. Ю., Толкачева Л. Е.	
Энерго- и ресурсосбережение в процессе получения сульфата натрия в ЗАО «Русский хром 1915».....	61
Крылов М. В., Герасимова Е. С.	
Ресурсосбережение при получении полимермодифицированных цементных составов....	62
Крылов М. В., Герасимова Е. С., Бердышев А. А.	
Ресурсосбережение при производстве пропариваемых полимермодифицированных цементных составов.....	65
Крюков Н. Е., Бир А. А., Никулин В. А.	
Изучение механизма выпаривания и кристаллизации водных растворов сверхвысокочастотным излучением (СВЧ-излучением).....	68
Кузовков С. В., Дунцев Д. Ю., Мамаев М. В., Стахеев С. Г.	
Применение «добавки коксующей» для производства металлургического кокса как путь увеличения глубины переработки нефти.....	69
Купрыгин В. В., Зорин М. В., Еремин А. Я., Загайнов В. С.	
Утилизация отходов эмульсолов прокатных цехов в коксохимическом производстве...	72
Кушкина Е. В., Павлова И. А.	
Расширение сырьевой базы керамических производств.....	74
Лежнина И. В., Селезнева И. С., Иванцова М. Н.	
Утилизация осадка при очистке сточных вод.....	74
Лузина Т. Э., Капустин Ф. Л.	
Исследование физико-механических свойств сульфоалюминатного цемента.....	77
Ляпунова А. В., Макарова Е. С., Павлова И. А.	
Объемно-окрашенный керамический лицевой кирпич.....	80
Медведева А. Н., Третьякова Н. А.	
Анализ радиального прироста пихты кавказской с целью корректировки объемов рубки.....	81
Мешков А. А., Николаева Н. В., Агаповичев А. В., Вдовин Р. А., Балякин А. В., Смелов В. Г.	
Технология восстановления детали выходного колена методом литья по выплавляемым моделям.....	83

Молодых А. С., Катыхиев С. Ф., Никоненко Е. А., Вайтнер В. В. Регенерация азотной кислоты в процессе термического гидролиза шестиводного нитрата магния.....	86
Мурзадеров А. В., Картавцев С. В. Использование углекислотной конверсии метана в цикле с ГТУ для обжига сидеритовых руд.....	89
Мухина Е. А., Лущикова Е. О., Толкачева Л. Е. Энерго- и ресурсосбережение в процессе водоподготовки на Среднеуральской ГРЭС.....	91
Павловец А. Ю., Берсенева М. В., Павлова И. А. Использование некондиционного сырья в производстве строительного керамического кирпича.....	93
Патрушев А. В., Останина Т. Н. Влияние состава электролита на динамику развития дендритных осадков цинка.....	94
Понаморов М. М. Сбережение природного газа с помощью применения химической регенерации.....	97
Сайфутдинова А. Р. Использование попутного нефтяного газа для получения тепла.....	99
Семенченко Е. А., Пономарев В. Б., Лошкарев А. Б. Получение строительного щебня из отходов дробления горных пород.....	100
Сергеева А. А., Гордеева И. С., Нгуен К. З., Картавцев С. В. Эффективное использование тепла раскаленного кокса в агломерационном производстве.....	102
Скворцова Е. В., Сидорова О. В., Павлова И. А. Легкоплавкие глины в производстве керамических материалов.....	104
Стариков О. Д., Исаченко Д. Г., Лесных А. В. Реконструкция котла КВ-ТС-1,5 с монтажом водогрейного контура.....	105
Талипов Р. Ф., Якушев Н. С., Назаров С. Л. Эффективная установка электродинамической сепарации с повышенной частотой магнитного поля.....	107
Утюмова А. С., Катыхиев С. Ф. Замена котла-утилизатора на теплообменник фирмы LOTUS в цехе по производству монокромата натрия.....	110
Хабибулин И. Э., Дониц Р. А., Земляной К. Г., Павлова И. А. Влияние разжижающих добавок на свойства алюмосиликатных бетонов.....	112
Хейло Д. В., Картавцев С. В. Способы и оценка рациональной утилизации конвертерного газа.....	113
Цупрун Ю. И., Катыхиев С. Ф. Усовершенствование технологии получения сульфата натрия в производстве хромовых соединений.....	115
Чалов Е. О., Платонов И. В., Картавцев С. В. Экспериментальное моделирование процесса плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе.....	117

Чуркин Е. В., Селезнева И. С.

Усовершенствование схемы улавливания бензольных углеводородов
из коксового газа..... 120

Шмакова В. С., Новиков А. Е.

Сравнительный анализ защитных свойств химических
и гальванических никелевых покрытий..... 122

Ямалетдинов А. А.

Нанотехнологии в теплоэнергетике..... 124

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Аскадеева Э. Р., Гасилина И. А.

О применении пеллетных котлов на автозаправочных станциях..... 126

Баткова Е. В., Вальцева А. И.

Конструкция ВЭУ с максимально широким диапазоном
использования скоростей ветра..... 127

Бибик И. С., Морохов Н. Д., Вальцева А. И.

Солнечные космические электростанции: направления развития и перспективы..... 130

Бодрова Е. С., Нараева Р. Р.

Использование возобновляемых источников энергии
для энергоснабжения мусороперерабатывающего комплекса..... 133

Васенев В. В., Панчева Л. Ю., Телюбаев Ж. Б., Ильин Ю. П.

Оценка выхода биогаза при различных режимах брожения
навоза КРС в биогазовой установке..... 135

Власова В. А., Самышина О. В., Колибаба О. Б.

Исследование внешнего теплообмена в процессе сушки
слоя твердых бытовых отходов..... 138

Гаманов К. О., Попов А. И.

Энергетический комплекс с использованием гидротаранной установки..... 139

Гильмутдинов Р. Ф., Зиганишин М. Г.

Совершенствование систем газового лучистого отопления..... 142

Горбунов А. В., Копейцев А. М., Чикурова О. С., Иванова В. А.

Обоснование технологии экструзионного брикетирования
торфяного и техногенного сырья..... 145

Горбунов А. В., Копейцев А. М., Панасюк А. И., Атабаева М. А.

Технологии создания эффективного торфяного топлива..... 146

Денисов К. С., Хайретдинова Л. Р., Велькин В. И.

Разработка компьютерной программы «VizProRES»
для выбора оборудования комплексной системы ВИЭ..... 149

Доскенов А. Х., Шерязов С. К.

Комбинированная система солнечного теплоснабжения..... 152

Дюльдин А. А., Масленников Г. Е., Вальцева А. И. Экспериментальная установка топливного элемента по технологии Direct Carbon Fuel Cell.....	154
Жуков А. В., Петров А. С., Щеклеин С. Е. Система парового регулируемого нагрева экспериментального участка вертикального термосифона.....	157
Жуков А. В., Щеклеин С. Е., Федореев С. А. Разработка когенерационной установки на базе газогенератора и ОЦР-электрогенератора, работающей на биотопливе влажностью до 40 %.....	160
Завьялов А. С., Тимофеев В. М., Щеклеин С. Е. Конструктивные особенности ленточно-винтовой ветроустановки.....	164
Захаров В. В., Кирпичникова И. М. Использование энергии солнца для получения тепловой энергии в условиях Челябинской области.....	167
Киричев А. В., Климов Е. И., Кирпичникова И. М. Зависимости освещенности фотодатчика от мощности источника света и интенсивности светового потока.....	168
Климов Е. И., Ежиков Н. И. Всероссийский социологический опрос «Исследование отношения населения России к вопросу размещения ветроэнергетических установок в городской среде».....	170
Климов Е. И., Ежиков Н. И., Пташкина-Гирина О. С. Система «Интерактивная карта» версия 0.3.2.....	173
Козлов Н. А., Попов А. И. Устройство для хранения газа – газгольдер.....	175
Кривова К. Д., Худякова Г. И., Рыжков А. Ф. Конверсия экибастузского угля в воздушной и паровоздушной среде.....	178
Кримготов А. Э., Ключев Р. В. Расчет предельного угла отключения трехфазного короткого замыкания при исследовании динамической устойчивости малых ГЭС.....	181
Леготина А. И., Бирюзова Е. А. Особенности газификации твердого топлива.....	184
Лукьянова К. С., Фазлиахметова М. Ф., Гюнтер Д. А. Экспериментальное определение удельной мощности ветрового потока в г. Орске.....	186
Лунегов Г. В., Немков Д. А., Попов А. И. Термоэнергетическая ветроустановка.....	190
Майоров А. А., Денисов К. С., Велькин В. И. Разработка модульной микроэлектростанции высокой степени заводской готовности на базе ВИЭ.....	194
Манылов С. А., Лебле Г. В., Шемпелев А. Г., Суворов Д. М. Теплонасосная установка в составе системы энергоснабжения на основе использования энергии малой ГЭС.....	197
Минин А. А., Ткачев В. К., Трубицын К. В. Включение теплонасосной установки в работу биогазовой системы для предприятий сельского хозяйства.....	199

Муратова Т. В., Габитов Р. Н., Колибаба О. Б. К расчету эффективного коэффициента температуропроводности слоя твердых бытовых отходов.....	202
Назарова Е. В., Иванова В. А., Мифтахутдинов И. Д., Обухова А. А. Целесообразность перевода муниципальных котельных Свердловской области на торфяное топливо.....	204
Насыйрова М. Р., Сарачева Д. А. Опыт применения газопоршневых электростанций на мировом рынке.....	205
Немков Д. А., Лунегов Г. В., Попов А. И. Океанические ГЭС и энергия океанических потоков.....	207
Нестеров С. Д., Ральников П. А., Худякова Г. И. Система автоматизированного управления газогенератора вихревого типа.....	210
Никитин А. Д., Стариков Е. В. Исследование системы охлаждения с жидкопоршневым пузырьковым насосом.....	212
Никитин А. Д., Стариков Е. В. Схемы применения жидкопоршневого пузырькового насоса в теплопередающих системах.....	215
Никитин А. Д., Стариков Е. В. Экспериментальное исследование различных конструкций жидкопоршневого пузырькового насоса.....	218
Никитин А. Д., Щеклеин С. Е. Методика оптимизации структуры дизель-фотоэлектрической станции.....	221
Олейникова Л. Н., Гревцев Н. В., Чикурова О. С., Усманов А. И. Энергоэкологический анализ технологических процессов производства фрезерного торфа.....	225
Патрашкин Е. А., Климов Е. И. Проблемы аккумулирования энергии при создании локальной энергосистемы на базе ветроэнергетических установок.....	227
Русских И. М., Лукьяненко В. Ю., Михайлова А. Ф., Ташлыков О. Л. О потенциале оптимизации радиационной защиты в снижении затрат на переработку жидких радиоактивных отходов.....	231
Рявкин А. Д., Щеклеин С. Е. Использование тепла аэробных реакторов для производства электроэнергии.....	234
Соломин Е. В., Сироткин Е. А., Мешин А. А. Расчет параметров автономного энергетического оборудования для оснащения загородного жилья.....	236
Стяжкин В. С., Шмакова Л. А., Вальцева А. И. МГД-генераторы: направления развития и перспективы.....	240
Терентьев М. С., Ташлыков О. Л. Экономические перспективы ториевого топливного цикла.....	242
Терентьева Т. В., Климова В. А. Оценка потенциала дождя для энергоснабжения потребителей малой мощности.....	245
Терехов А. Н. Применение вакуумных солнечных коллекторов на Среднем Урале.....	248

Терпелец М. А., Попов А. И., Щеклеин С. Е.	
Анаэробный реактор.....	252
Трифонов В. Д., Ткачев В. К., Трубицын К. В.	
Применение солнечной энергии при получении биогаза.....	254
Ферафонтова С. С., Николаев А. В., Мазанкина Д. В.	
Применение многофункционального энергетического комплекса (МЭК) в нефтяной промышленности.....	257
Хайретдинова Л. Р., Денисов К. С., Велькин В. И.	
Анализ рынка аккумуляторов для использования в комплексных системах ВИЭ малой мощности.....	259
Цейзер Г. М.	
Обзор способов применения теплонасосных технологий для городских объектов.....	263
Чизак А. С., Шерьязов С. К.	
Разработка схемы электропитания для автономной системы солнечного теплоснабжения.....	264
Шаврин К. В.	
Солнечные батареи и ветрогенератор как альтернативные источники энергии для загородного дома.....	267
Шакирова А. А., Рахматуллин Р. Р.	
Применение микротурбин в энергетике.....	270
Шарканова А. Н., Таилыков О. Л.	
О роли информационных систем управления ремонтом в повышении эффективности работы АЭС.....	272
Шерстнев В. И., Бородихина Е. В., Мифтахутдинов И. Д., Токманцев Д. В.	
Биогазовая технология – будущее экологической энергетики.....	274
Шерстнев В. И., Обухова А. А., Токманцев Д. В., Бородихина Е. В.	
Использование водорослей для приготовления биотоплива.....	277
Шестакова В. В., Кирпичникова И. М.	
Использование энергетического потенциала энергосберегающих технологий в социальной сфере.....	278
Шутов А. Д., Попов А. И.	
ВЭУ с использованием эффекта Магнуса.....	281
Ячменева А. И., Ануфриев В. П.	
Отходы – капитал страны.....	285

Научное издание

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Том 2

Научные редакторы *В. Ю. Балдин, И. С. Селезнева, Г. И. Худякова*

Компьютерная верстка *Г. Н. Мизгулиной*

Корректорская работа – сотрудники РИО ИПЦ УрФУ

*Ответственность за содержание предоставленных материалов
несут авторы статей*

Подписано в печать 28.05.2015. Формат 60×84 1/16.
Бумага типографская. Плоская печать. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 17,2. Уч.-изд. л. 20,0. Тираж 150 экз. Заказ № 195.

Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: 8 (343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru